

4 ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ-

4.1.1 ΚΡΑΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (WROUGHT ALLOYS)

Το σύστημα σχεδιασμού και ονοματολογίας των κραμάτων διαμόρφωσης αλουμινίου περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία όπου:

Το πρώτο ψηφίο δείχνει τα κύρια κραματικά στοιχεία.

Το δεύτερο ψηφίο δείχνει τις διάφορες μορφές του αρχικού κράματος

Το τρίτο και τέταρτο ψηφίο τις διαφορετικές μορφές του κάθε κράματος.

1xxx	Καθαρό Al (Al >99,00%)
2xxx	Κράματα Al-Cu
3xxx	Κράματα Al-Mn
4xxx	Κράματα Al-Si
5xxx	Κράματα Al-Mg
6xxx	Κράματα Al-Mg-Si
7xxx	Κράματα Al-Zn
8xxx	Κράματα Al με άλλα στοιχεία
9xxx	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά.

4.1.2 ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ (CASTING ALLOYS)

Το σύστημα σχεδιασμού και ονοματολογίας των κραμάτων χύτευσης αλουμινίου περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία όπου:

Το πρώτο ψηφίο δείχνει τα κύρια κραματικά στοιχεία.

Το δεύτερο και τρίτο ψηφία δείχνουν τις διάφορες μορφές του κράματος.

Το τέταρτο ψηφίο δείχνει αν είναι χυτό (casting) (0) η χελώνα (ingot) (1,2)

1xx.x	Καθαρό Al (Al >99,00%)
2xx.x	Κράματα Al-Cu
3xx.x	Κράματα Al-Si + Cu και / η Mg.
4xx.x	Κράματα Al-Si
5xx.x	Κράματα Al-Mg
6xx.x	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά
7xx.x	Κράματα Al-Zn
8xx.x	Κράματα Al-Sn με άλλα στοιχεία
9xx.x	Κράματα Al-με άλλα στοιχεία

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

F – Όπως παράγεται (χωρίς θερμική).

O – Με ανόπτηση.

H- Ψυγρηλατημένο (Σκληρυμένο)

W- Με θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης

T Με θερμική κατεργασία διαφορετική από τις προηγούμενες. Συνήθως με σκλήρυνση μετά από υπερβαφή και κατακρήμνιση. Προσθήκη αριθμού δείχνει διάφορες μορφές πχ T6 θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης και σκλήρυνσης με τεχνητή γήρανση.

4.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το αλουμίνιο είναι σχετικά μη ανθεκτικό αλλά πολύ όλκιμο μέταλλο. Το μέτρο ελαστικότητας του είναι περίπου το ένα τρίτο του χάλυβα, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι το αλουμίνιο παραμορφώνεται ελαστικά τρεις φορές περισσότερο από τον χάλυβα, κάτω από αντίστοιχη φόρτιση. Αυτή η ιδιότητα δεν βελτιώνεται σημαντικά με την κραμάτωση. Επίσης το αλουμίνιο και τα κράματα του κρατούν την όλκιμότητά τους και δεν γίνονται ψαθυρά ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κάτι που δεν συμβαίνει με τον χάλυβα και το τιτάνιο.

Σαν τα περισσότερα μέταλλα ενισχύεται με ψυχρηλασία. Ακόμη περισσότερο δε, ενισχύεται με κραμάτωση με διάφορα στοιχεία.

Το καθαρό αλουμίνιο χρησιμοποιείται για ηλεκτρικούς αγωγούς, χημικό εξοπλισμό και σα φύλλο με διάφορες εφαρμογές. Οι κυριότερες προσθήκες στο αλουμίνιο είναι ο χαλκός, το μαγγάνιο, το πυρίτιο, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος ενώ και άλλα στοιχεία προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες για πολύ ειδικούς σκοπούς (εκλέπτυνση κόκκου, μετασχηματισμό).

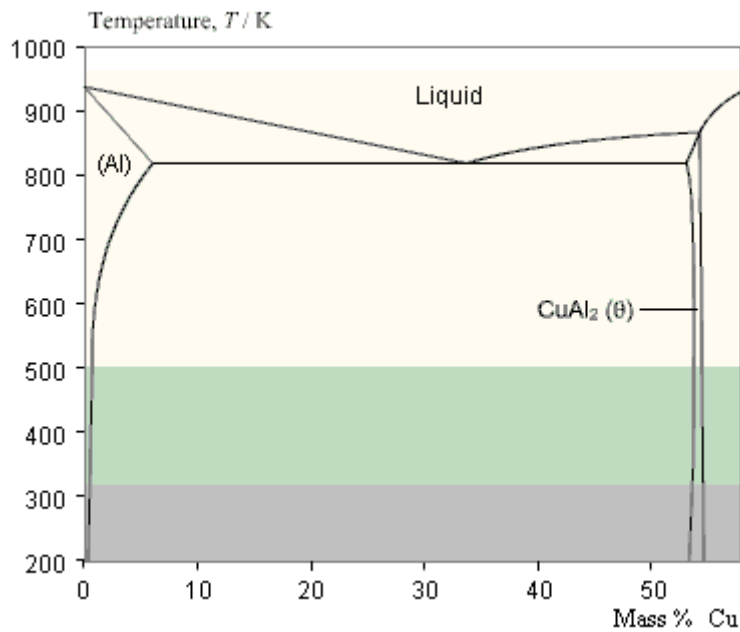
Ο πίνακας 4.1 δείχνει τη μέγιστη διαλυτότητα των κύριων κραματικών στοιχείων καθώς και τη θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται. Οι τιμές δίνονται για διμερή συστήματα, και η παρουσία και άλλων στοιχείων στο κράμα επηρεάζει την διαλυτότητα. Προσθήκες μεγαλύτερες από τη μέγιστη διαλυτότητα πολλές φορές γίνονται, ειδικά με το πυρίτιο και αυτό έχει σα συνέπεια τη παρουσία ετερογενών σωματιδίων στο στερεό διάλυμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1
ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΣΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

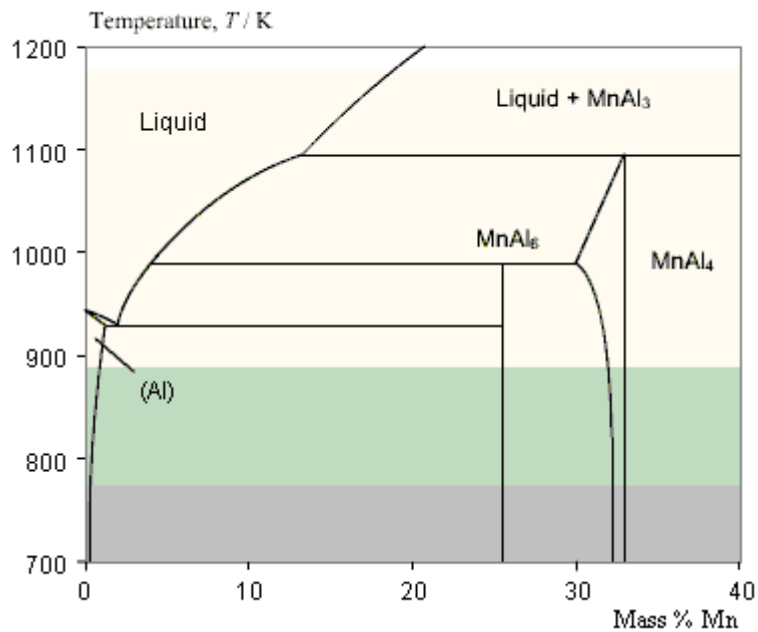
Προσθήκη	% κ/β	% άτομα	Θερμοκρασία °C
Cu	5,6	2,5	548
Mg	14,9	16,3	450
Mn	1,8	0,9	671
Si	1,6	1,6	577
Zn	82,8	66,4	382
Mg₂Si	1,8	1,9	595

Στη συνέχεια δίνονται τα διμερή διαγράμματα φάσεων. Από όλα τα κύρια κραματικά στοιχεία μόνο ο ψευδάργυρος έχει σημαντική διαλυτότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και μάλιστα λίγες μονάδες. Έτσι κάτω από συνθήκες ισορροπίας οι περισσότερες κραματικές προσθήκες βρίσκονται διεσπαρμένες στη μήτρα του αλουμινίου και το ενισχύουν με διασπορά. Πάντως δεν επιδέχονται όλα τα κράματα θερμική κατεργασία και απαιτείται περαιτέρω ενίσχυση με ψυχρηλασία. Παρουσιάζονται στη συνέχεια οι επιδράσεις των κραματικών προσθηκών στο αλουμίνιο αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι σπάνια τα κράματα είναι διμερή και συνήθως μικρές ποσότητες από άλλα στοιχεία προστίθενται για να προσδώσουν ειδικές ιδιότητες.

Ο **χαλκός** είναι ένα από τα πιο σπουδαία στοιχεία για το αλουμίνιο. Έχει σημαντική διαλυτότητα και ενισχύει σημαντικά το αλουμίνιο με θερμική κατεργασία κατακρήμνισης και γήρανσης. Πολλά κράματα περιέχουν χαλκό είτε σα κύριο κραματικό στοιχείο, η μεταξύ των κύριων κραματικών στοιχείων σε περιεκτικότητες από 1 έως 10%.

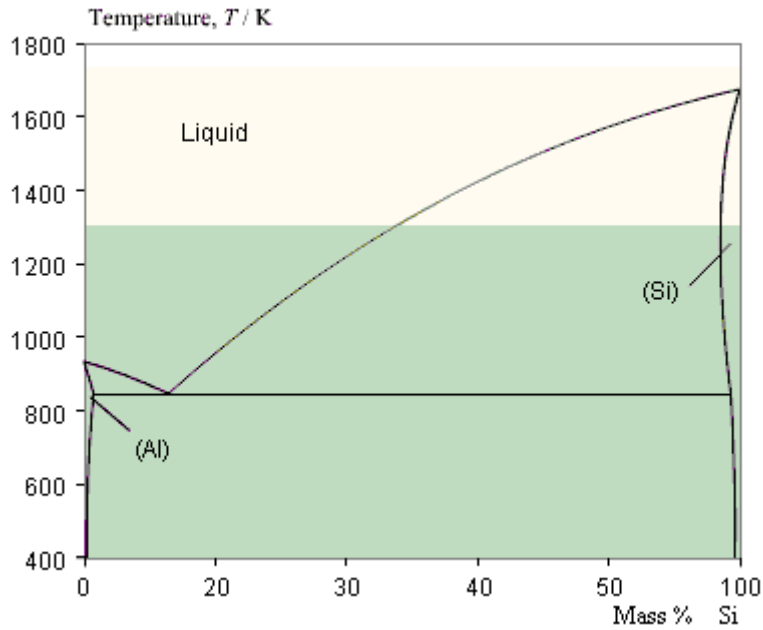


Το μαγγάνιο έχει περιορισμένη διαλυτότητα στο στερεό διάλυμα του αλουμινίου αλλά σε περιεκτικότητες περίπου 1% σχηματίζει μια σειρά από κατεργάσιμα κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Προστίθεται ευρέως σαν συμπληρωματικό στοιχείο σε κράματα (επιδεκτικά ή μη επιδεκτικά θερμικής κατεργασίας) και προσδίδει σημαντική

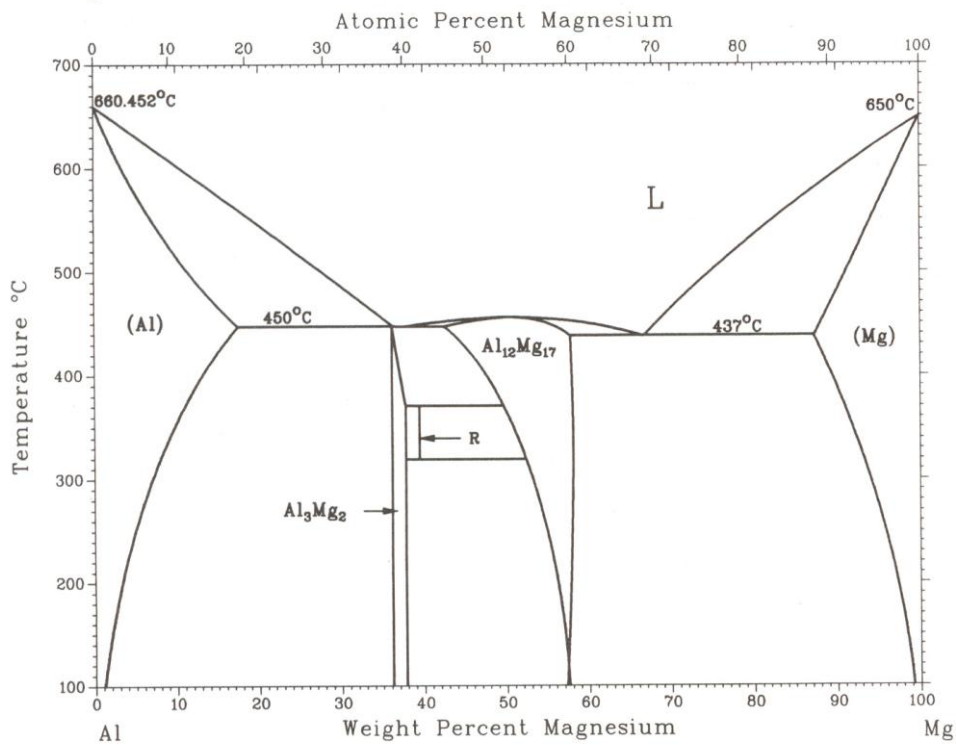


ενίσχυση.

Το πυρίτιο μειώνει το σημείο τήξης και αυξάνει την ρευστότητα του αλουμινίου. Αυξάνει επίσης σε μέτριο βαθμό την αντοχή του.

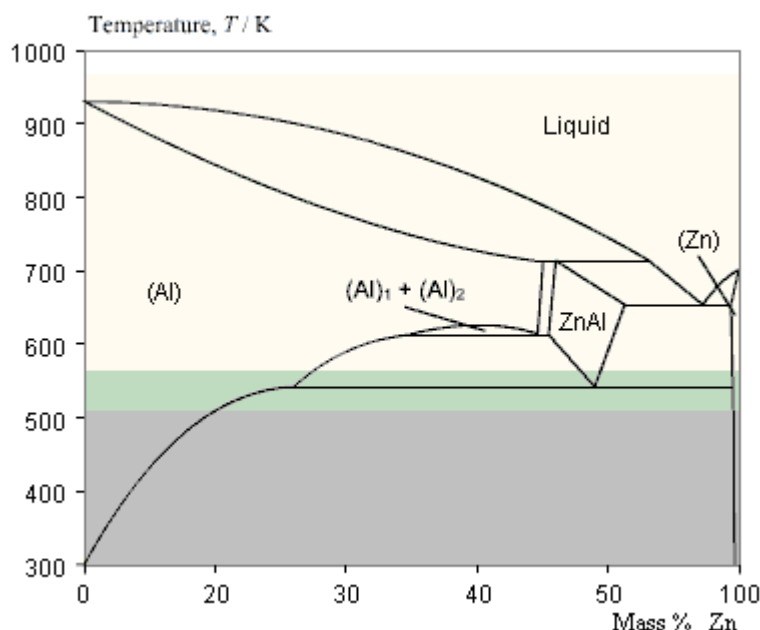


Al-Mg



Το μαγνήσιο παρέχει σημαντική ενίσχυση και βελτίωση των χαρακτηριστικών της ψυχρηλασίας. Έχει σχετικά μεγάλη διαλυτότητα στο στερεό αλουμίνιο αλλά τα κράματα Al-Mg που περιέχουν Mg λιγότερο από 7% δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Το Mg προστίθεται επίσης σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία κυρίως χαλκό και ψευδάργυρο, για ακόμη καλύτερη ενίσχυση της αντοχής.

Ο ψευδάργυρος εισάγεται στα χυτευτικά κράματα και σε συνδυασμό με το μαγνήσιο στα κράματα διαμόρφωσης, παράγει κράματα που έχουν τις μεγαλύτερες αντοχές μεταξύ των κραμάτων του αλουμινίου.



4.4 ΚΡΑΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (WROUGHT ALLOYS)

1xxx Καθαρό Αλουμίνιο

- Σκληρύνεται με ενδοτράχυνση
- Διαμορφώνεται πολύ εύκολα, παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάβρωση και καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Ηλεκτρικές και χημικές εφαρμογές
- Αντιπροσωπευτικές σειρές: 1100, 1350
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 69- 186 Mpa

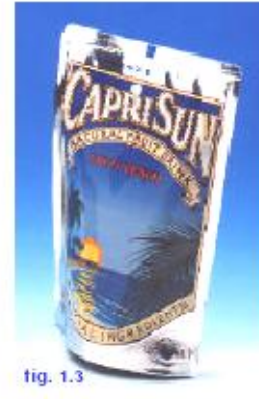
Η σειρά 1xxx αντιπροσωπεύει το εμπορικά καθαρό αλουμίνιο, από το βασικό 1100 (99,00% min. Al) μέχρι τα σχετικά καθαρότερα 1050/1350 (99,50% min. Al) και 1175 (99,75% min. Al). Μερικοί τύποι, σαν το 1350 που χρησιμοποιείται ειδικά για ηλεκτρικές εφαρμογές, έχουν σφιγτές ανοχές στο ποσοστό των ακαθαρσιών που είναι υπεύθυνες για τη μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Η σειρά 1xxx υφίσταται σκλήρυνση με ενδοτράχυνση, αλλά δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου η αντοχή είναι το βασικό στοιχείο σχεδιασμού. Περισσότερη έμφαση πρέπει να δίνεται σε εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, καλή ολκιμότητα και/ή ηλεκτρική αγωγιμότητα, όπως φύλλα για συσκευασία, χημικό εξοπλισμό, σασί αυτοκινήτων ή φορτηγών και όπου απαιτείται χρήση λαμαρίνας.

Εικ.1.1 Εγκατάσταση ηλεκτρικών αγωγών αλουμινίου με Al 1350.

Εικ.1.2 Αλουμινόχαρτο για τρόφιμα και φάρμακα από καθαρό αλουμίνιο 1100

Εικ.1.3 Αλουμινόχαρτο με έντυπο για τρόφιμα και ποτά από 1060 ή 1100



2xxx Κράματα Al-Cu

- Υφίστανται θερμική κατεργασία
- Έχουν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος όπως και σε υψηλές θερμοκρασίες
- Εφαρμογές σε μεταφορές (αεροπλάνα τρέινα)
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 2014, 2017, 2024, 2219, 2195
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 186- 427 Μpa

Η σειρά 2xxx υφίσταται θερμική κατεργασία και συνδυάζει σε κάποια κράματα υψηλή αντοχή (ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες), ακαμψία και σε μερικές περιπτώσεις καλή συγκολλησιμότητα. Δεν έχει καλή αντοχή σε διάβρωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, έτσι βάφεται ή επενδύεται κατάλληλα για τέτοιες εφαρμογές. Τα πιο ανθεκτικά κράματα της σειράς 2xxx κυρίως χρησιμοποιούνται για αεροσκάφη (2024) και για σασί φορτηγών (2014). Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που συνδέονται με σπειρώματα ή πριτσίνια. Κάποια ειδικά κράματα της σειράς (π.χ 2219 και 2048) συγκολλούνται, και έτσι χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε αεροσκάφη όπου η μέθοδος της συγκόλλησης προτιμάται.

Το κράμα 2195 είναι νέο σχετικά κράμα με Li για διαστημικές εφαρμογές, έχοντας πολύ μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και παρουσιάζοντας καλή συγκολλησιμότητα. Υπάρχουν επίσης διάφοροι τύποι κραμάτων (π.χ. 2124, 2324, 2419) με υψηλή ακαμψία και στους οποίους επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος των ακαθαρσιών που είναι υπεύθυνες για την μείωση της αντοχής, και αναπτύχθηκαν για τη βιομηχανία αεροσκαφών. Τα κράματα 2011, 2017 και 2117 χρησιμοποιούνται ευρέως για βίδες και ροδέλες.

Εικ.2.1 Η εσωτερική κατασκευή των αεροσκαφών περιλαμβάνει διατομές και φύλλα των σειρών 2xxx και 7xxx (2024, 2124 και 2618). Το εξωτερικό φύλλο μπορεί να είναι Alclad 2024 ή 2618. Επένδυση με υψηλής καθαρότητας αλουμίνιο (Alclad) προσδίδει προστασία σε διάβρωση στα κράματα Al-Cu τα οποία διαφορετικά θα μαυρίσουν με τον καιρό.

Εικ.2.2 Σε καρότσες φορτηγών και βυτίων χρησιμοποιούνται διατομές από κράματα



σειράς 2xxx.

Εικ.2.3 2.4 Οι αποθήκες καυσίμου και οι πύραυλοι προώθησης του διαστημικού λεωφορείου είναι από κράματα 2xxx αρχικά 2219 και 2419 και τώρα τελευταία από κράμα Al-Li 2195.



3xxx Κράματα Al-Mn

- Διαμορφώνεται πολύ εύκολα, παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάβρωση και καλή συγκολλησιμότητα. Μέτρια αντοχή.
- Χρησιμοποιείται για αγωγούς μεταφοράς θερμότητας, συσκευασία και εφαρμογές στέγης και πλαϊνών τοιχωμάτων.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 3003, 3004, 3005.
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 110-282 Μpa

Η σειρά 3xxx υφίσταται σκλήρυνση με ενδοτράχυνση, έχει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και πολύ καλή συγκολλησιμότητα. Έχει πολύ καλή επιδεκτικότητα σε επιχάλκωση. Το κράμα 3003 χρησιμοποιείται ευρέως σε σκεύη κουζίνας και για χημικό εξοπλισμό όπως και σε κτιριακές υποδομές. Το κράμα 3105 είναι ένα από τα βασικά για στέγες και πλαϊνές επικαλύψεις κτιρίων. Τα διάφορα κράματα της σειράς 3xxx χρησιμοποιούνται σε μορφή λαμαρίνας και σωλήνα για εναλλάκτες θερμότητας σε φορτηγά και ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς.

Τα κράματα 3004 και το 3104 είναι μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων κραμάτων λόγω της χρήσης τους στα τενεκεδάκια των αναψυκτικών.

Εικ.3.1 Εναλλάκτες θερμότητας αυτοκινήτων είναι από κράμα σαν το 3002.

Εικ.3.2 Κράμα 3003 σε εναλλάκτη θερμότητας εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού.

Εικ.3.3 Το σώμα από τα τενεκεδάκια των αναψυκτικών είναι από κράμα 3004 ή 3104, το περισσότερο παραγόμενο κράμα στη βιομηχανία.



fig. 3.2



fig. 3.3

4xxx Κράματα Al-Si

- Υφίστανται θερμική κατεργασία
- Καλά χαρακτηριστικά ροής , μέτρια αντοχή.
- Πιστόνια , σφυρήλατα πολύπλοκου σχήματος.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 4032 και υλικό ηλεκτροδίων 4043.
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 172- 380 Mpa

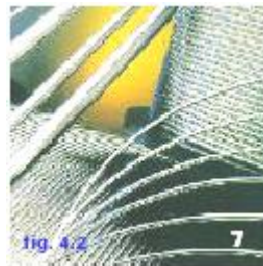
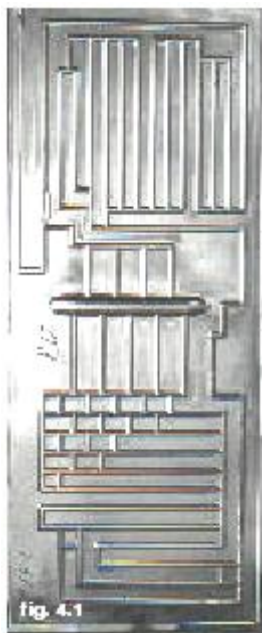
Από τα δυο περισσότερο χρησιμοποιούμενα κράματα της σειράς 4xxx , το 4032 είναι ένα μέτριας προς υψηλής αντοχής κράμα, θερμικά κατεργάσιμο που χρησιμοποιείται κυρίως για σφυρήλατα προϊόντα και σε εφαρμογές όπως πιστόνια αεροσκαφών. Από την άλλη πλευρά το 4043 είναι ένα από τα πλέον γνωστά υλικά συγκόλλησης των κραμάτων της σειράς 4xxx για κατασκευές και εφαρμογές στα αυτοκίνητα.

Το ίδιο χαρακτηριστικό (της εύκολης σφυρηλασίας) οδηγεί στις εφαρμογές της σειράς. Πολύ καλή ολκιμότητα που οφείλεται στην ψηλή περιεκτικότητα σε Si, στη περίπτωση των σφυρήλατων προϊόντων εξασφαλίζει το γέμισμα περίπλοκων καλουπιών , στη δε περίπτωση του υλικού συγκόλλησης εξασφαλίζει πλήρωση των ρωγμών και των κενών των τεμαχίων που συγκολλούνται.

Οι σειρά 4xxx και τα κράματα της που χρησιμοποιούνται ευρέως αντιπροσωπεύονται από τις παρακάτω εφαρμογές:

Εικ.4.1 Σύστημα κυκλοφορίας ψυκτικού υγρού με επιχαλωμένο κράμα υψηλής περιεκτικότητας σε Si.

Εικ.4.2 Κράμα 4043: Το πιο ευρέως διαδεδομένο σύρμα συγκόλλησης.



5xxx Κράματα Al-Mg

- Σκληρύνεται με ενδοτράχυνση
- Παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση καλή συγκολλησιμότητα και καλή δυσκαμψία. Ενδιάμεση αντοχή.
- Εφαρμογές υποδομής κτιρίων και κατασκευών, αυτοκίνητα, κρυογενικά υλικά, εφαρμογές σε παραθαλάσσιες περιοχές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 5052, 5083, 5754.
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 172-380 Mpa

Όλα τα κράματα της σειράς 5xxx υφίστανται σκλήρυνση με ψυχρηλασία και έχουν σχετικά υψηλή αντοχή, εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση ακόμη και σε θαλάσσιο περιβάλλον, και

μεγάλη ακαμψία ακόμη και σε κρυογενικό περιβάλλον κοντά στο απόλυτο 0° K. Συγκολλούνται εύκολα με πολλές τεχνικές ακόμη και σε μεγάλα πάχη μέχρι 20 cm. Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω η σειρά 5xxx βρίσκει μεγάλες εφαρμογές σε κτιριακά και κατασκευές, κατασκευές γεφυρών δοχεία αποθήκευσης και πιεστικά εφαρμογές συστημάτων για θερμοκρασίες -270° C και εφαρμογές κοντά στη θάλασσα.

Τα κράματα 5052, 5086 και 5083 χρησιμοποιούνται ευρέως σε κατασκευές με την αντοχή να αυξάνει καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα σε Mg. Ειδικές εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν το 5182 (ο πυθμένας από το τενεκεδάκι των αναψυκτικών) το 5754 για σωληνωτό πλαίσιο αυτοκινήτων και 5252, 5457 και 5657 για εμφανισιακές εφαρμογές (φτερά, καπό αυτοκινήτου κ.λ.π.).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται ώστε να αποφεύγεται η χρήση κραμάτων σειράς 5xxx με Mg >3%, σε εφαρμογές συνεχούς έκθεσης σε θερμοκρασίες άνω των 100° C. Τέτοια κράματα μπορεί να ευαισθητοποιηθούν σε διάβρωση λόγω επιβολής τάσεων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις συνιστώνται κράματα σαν τα 5454 και 5754.

Παραδείγματα των εφαρμογών των ευρέως διαδεδομένων κραμάτων σειράς 5xxx:

Εικ.5.1 Μεγάλα ταχύπλοα έχουν το κύτος επενδυμένο με κράμα 5083 όπως και το κατάστρωμα και την ανωδομή.

Εικ.5.2 Η εσωτερική κατασκευή του ανωτέρω ταχύπλου.

Εικ.5.3 Ταχύπλοα σκάφη απλών η διπλών τοιχωμάτων χρησιμοποιούν διάφορα κράματα όπως 5083 και 5454 σε φύλλα μαζί με διατομές σειράς 6xxx σε κατασκευές με συγκολλήσεις συνδεδεμένες.

Εικ.5.4 Το κράμα 5083 είναι το βασικό υλικό κατασκευής των σφαιρών διαμέτρου 125 ft για την θαλάσσια μεταφορά υγρού φυσικού αερίου. Η κατασκευή είναι όλη συγκολλητή και το πάχος στην οριζόντια διάμετρο είναι 200 περίπου mm.

Εικ.5.5 Η γέφυρα Foresmo στη Βόρεια Νορβηγία είναι ένα άριστο παράδειγμα χρήσης κραμάτων Al-Mg για την κατασκευή συστημάτων δοκών. Η εικόνα δείχνει το κύριο πλεονέκτημα αντικατάστασης γεφυρών αλουμινίου. Η δυνατότητα προκατασκευής των ανοιγμάτων και της γρήγορης μεταφοράς και τοποθέτησης ελαχιστοποιεί την αναστάτωση στη κυκλοφορία.

Εικ.5.6 Βαγόνια μεταφοράς κάρβουνου κατασκευασμένα από συγκολλητά φύλλα κράματος 5454.

Εικ.5.7 Εξέδρες άντλησης πετρελαίου. Οι απαιτήσεις σε διάβρωση λόγω της υψηλής υγρασίας και έκθεσης στο νερό καλύπτονται από συγκολλητές κατασκευές με κράματα 5454, 5086 και 5083.

Εικ.5.8 5.9 Στη βιομηχανία αυτοκινήτου η ποσότητα του 5754 κράματος σε μορφή φύλλων αυξάνει συνεχώς.

Εικ.5.10 Ο πυθμένας από τα τενεκεδάκια των αναψυκτικών είναι από κράμα 5182 ένα από τα περισσότερο παραγόμενα κράματα της σειράς 5xxx.





6xxx Κράματα Al-Mg-Si

- Υφίστανται θερμική κατεργασία
- Μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, εξαιρετική ολκιμότητα, ενδιάμεση αντοχή.
- Εφαρμογές υποδομής κτιρίων και κατασκευών, αυτοκίνητα, εφαρμογές σε παραθαλάσσιες περιοχές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 6061, 6063, 6111
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 125- 400 Mpa

Τα κράματα της σειράς 6xxx δέχονται θερμική κατεργασία, έχουν σχετικά υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό που συνδυάζεται με άριστη αντοχή σε διάβρωση. Συγκολλούνται εύκολα. Μια μοναδική τους ιδιότητα είναι η ικανότητα για διέλαση που τα κάνει την πρώτη εκλογή για αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές λύσεις όπου επίσης απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη αντοχή. Το κράμα 6063 ίσως είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο, λόγω της ικανότητας του για διέλαση. Είναι ένα από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη γέφυρα Foresmo της Νορβηγίας και είναι το κράμα που η Audi έχει επιλέξει για το πλαίσιο των αυτοκινήτων της.

Το κράμα 6061 με υψηλότερη αντοχή βρίσκει εκτεταμένη χρήση σε κατασκευές συνδεδεμένες με συγκολλήσεις όπως φορτηγά, βαγόνια τραίνου και σωληνώσεις. Μεταξύ των ειδικών κραμάτων της σειράς: 6066-T6 με υψηλή αντοχή για σφυρήλατα 6111 για panel πλαισίων αυτοκινήτου και 6101 και 6201 για υψηλής αντοχής ηλεκτρικούς αγωγούς.

Οι πιο σπουδαίες εφαρμογές για κράματα Al-Mg-Si είναι:

Εικ.6.1 Η δυνατότητα των διελάσιμων κραμάτων Al-Mg-Si να μπαίνουν όπου τα χρειάζεσαι.

Εικ.6.2 Κατασκευές οροφής για κλειστούς στίβους και γυμναστήρια είναι συνήθως σωλήνες 6063 ή 6061 καλυμμένες με φύλλα κράματος σειράς 5xxx.

Εικ.6.3 Κατασκευή στο Long beach CA, με διάμετρο 330 μέτρα και ύψος 130.

Εικ.6.4 6.5: Ειδική διατομή για προστατευτικές μπάρες με κράμα 6063 τοποθετούνται σε ελάχιστο χρόνο.

Εικ.6.6 6.7: Τα νέα τρέινα Mag-Lev που αναπτύσσονται στην Ευρώπη και Ιαπωνία χρησιμοποιούν τα κράματα 6061 και 6063 για τα σώματα των βαγονιών.

Εικ.6.8 6.9 Διατομές κραμάτων σειράς 6xxx κατασκευάζουν τον εσωτερικό σκελετό μοτοσυκλετών και αυτοκινήτων (η εικόνα είναι από το Audi A8).

Εικ.6.10 Συγκολλητές διατομές 6063 συνδυαζόμενες με σωλήνες 5083 αποτελούν το



fig. 6.4

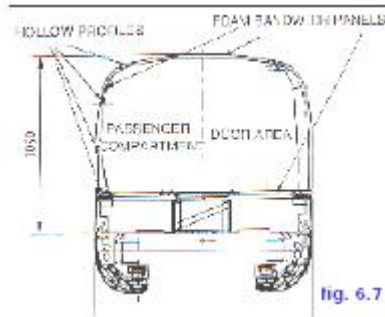


fig. 6.7



fig. 6.8



fig. 6.5

μπροστινό και πίσω σύστημα ανάρτησης των μοντέλων της BMW σειράς 5.



fig. 6.9



fig. 6.10



fig. 7.2



fig. 6.1

11



12

fig. 6.6

7xxx Κράματα Al-Zn

- Υφίστανται θερμική κατεργασία
- Πολύ μεγάλη αντοχή, τύποι εξαιρετικής ακαμψίας.
- Εφαρμογές αυτοκινήτων και αεροδιαστημικές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 7005,7075,7475,7150
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 220-605 Μπα

Τα κράματα της σειράς 7xxx υφίστανται θερμική κατεργασία και μεταξύ των διαφόρων κραμάτων οι τύποι Al-Zn-Mg-Cu έχουν τις μεγαλύτερες αντοχές μεταξύ όλων των κραμάτων αλουμινίου. Υπάρχουν διάφορα κράματα της σειράς που παράγονται για την εξαιρετική τους ακαμψία, κυρίως τα 7150 και 7475 που με πολύ καλό έλεγχο του επιπέδου των ακαθαρσιών μεγιστοποιούν τον συνδυασμό αντοχής και ακαμψίας.

Η μεγαλύτερη εφαρμογή των σειρών 7xxx ιστορικά είναι στη βιομηχανία αεροσκαφών όπου απαιτούνται μεγάλες τιμές ακαμψίας. Τα κράματα αυτά δεν θεωρούνται συγκολλησίμα με τις κοινές μεθόδους και συνήθως χρησιμοποιούνται σε κατασκευές με πριτσίνια.

Η αντοχή σε ατμοσφαιρική διάβρωση της σειράς 7xxx δεν είναι τόσο υψηλή όσο των σειρών 5xxx και 6xxx, έτσι σε τέτοιες συνθήκες συνήθως επενδύονται ή αν πρόκειται για φύλλα χρησιμοποιούνται επαλουμινωμένα (Alclad). Στις περιπτώσεις που υπάρχει υποψία για κατάρρευση με διάβρωση λόγω επιβολής τάσεων (stress corrosion cracking) πρέπει να εφαρμόζεται θερμική T73 αντί για T6.

Εφαρμογές των κραμάτων σειράς 7xxx περιλαμβάνουν:

Εικ.7.1. Κατασκευές αεροσκαφών από φύλλα ή διατομές σειράς 7xxx: Τύποι 7075-T73 ή 7050 ή 7475.

Εικ.7.2. Προφυλακτήρες αυτοκινήτων από 7029 ή 7129 μειώνουν το βάρος του αυτοκινήτου και βελτιώνουν την κατανάλωση του.



8xxx Κράματα Al-με άλλα στοιχεία.

- Υφίστανται θερμική κατεργασία
- Μεγάλη αγωγιμότητα και αντοχή, σκληρότητα.
- Ηλεκτρικές εφαρμογές και αεροδιαστημικές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 8017,8176,8081,8280,8090.
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 117-241 Μpa

Η σειρά 8xxx χρησιμοποιείται για τα κράματα με τα λιγότερα χρησιμοποιούμενα κραματικά στοιχεία Fe, Ni, και Li. Το καθένα χρησιμοποιείται για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρέχει στο κράμα: Τα Fe και Ni παρέχουν αντοχή με μικρή απώλεια ηλεκτρικής αγωγιμότητας (αντιπροσωπευτικό 8017). Το Li στο 8090 παρέχει εξαιρετικά υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, έτσι χρησιμοποιείται για αεροδιαστημικές εφαρμογές.

4.5 ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ

Σε αντίθεση με τα κατεργάσιμα κράματα, τα κράματα χύτευσης περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες κραματικών στοιχείων όπως πυριτίου και χαλκού. Αυτό προκαλεί μια μεγάλη ετερογενή δομή π.χ. μια σημαντική ποσότητα δευτέρας φάσης. Αυτή η δεύτερη φάση απαιτεί πολύ προσεκτική μελέτη, διότι κάθε άγριο, κοφτερό και εύθραυστο συστατικό μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικές εγχοπές και να ξεκινήσει ρωγμές όταν το χυτό τοποθετηθεί αργότερα σε συνθήκες φορτίου. Οι μεγάλες ετερογενείς δομές δεν έχουν καλές αντοχές σε

κόπωση. Καλές μεταλλουργικές και χυτευτικές τεχνικές μπορούν να προλάβουν τέτοια σφάλματα.

Η επιμήκυνση και η αντοχή, ειδικά στην κόπωση, των περισσότερων χυτών είναι σχετικά χαμηλότερες από αυτές των κατεργάσιμων προϊόντων. Αυτό οφείλεται στο ότι οι τεχνικές χύτευσης ακόμη δεν μπορούν να προλάβουν τα χυτευτικά σφάλματα.

2xx.x Κράματα Al-Cu

- Υφίστανται θερμική κατεργασία και χυτεύονται σε «κοχύλι» (μεταλλικό καλούπι) και στο «χώμα».
- Υψηλές αντοχές σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σε υψηλές θερμοκρασίες. Μερικά παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε κάμψη.
- Εφαρμογές για αεροσκάφη, αυτοκίνητα και μηχανές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 201.0, 203.0
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 131-450 Μpa

Το περισσότερο ανθεκτικό κράμα είναι το 201.0/AlCu4Ti (Ντουραλουμίνιο) που επιδέχεται θερμική κατεργασία. Η χυτευσιμότητα του περιορίζεται λόγω της τάσης σχηματισμού μικροπορώδους και «θερμών σταγόνων» (hot tears) έτσι καλύτερα ταιριάζει στις μεθόδους επενδυμένων κελυφών. Η μεγάλη του αντοχή σε κάμψη το κάνει ιδιαίτερα κατάλληλο για εξαρτήματα υψηλής καταπόνησης σε εργαλειομηχανές, σε εφαρμογές ηλεκτρολογικού υλικού και στη κατασκευή αεροσκαφών.

Εκτός από τα κανονικά κράματα χύτευσης, υπάρχουν ειδικά κράματα για ιδιαίτερα εξαρτήματα π.χ. κεφαλές μηχανής, σώματα μηχανής ή κουζινέτα. Για τέτοιες εφαρμογές το επιλεγμένο κράμα απαιτεί καλή αντοχή στη φθορά και χαμηλό συντελεστή τριβής, όπως επίσης κατάλληλη αντοχή σε συνθήκες λειτουργίας υψηλών θερμοκρασιών. Ένα καλό παράδειγμα είναι το κράμα 203.0/AlCu5NiCo που σήμερα είναι το κράμα χύτευσης με την μεγαλύτερη αντοχή στους 200° C.

Ευκ21c. Φτερά προσγείωσης (landing flaps) και άλλα εξαρτήματα αεροσκαφών



κατασκευάζονται από 201.0 ή A356.0 κράματα.

3xx.x Κράματα Al-Si+Cu ή Mg

- Υφίστανται θερμική κατεργασία και χυτεύονται σε «κοχύλι» (μεταλλικό καλούπι) στο «χώμα» και σε χυτόπρεσσα
- Εξαιρετική χυτευσιμότητα (εύροια), υψηλή αντοχή, μερικά δε κράματα με υψηλή αντοχή σε κάμψη.
- Εφαρμογές σε εξαρτήματα αυτοκινήτου, πιστόνια, αντλίες ηλεκτρολογικά εξαρτήματα.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 356.0, A356.0, 359.0, A360.0.
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 131-275 Μpa

Η σειρά 3xx.x των χυτών είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες σειρές λόγω της ελαστικότητας που προσδίδει το υψηλό σε πυρίτιο ποσοστό, όπως και της πολύ καλής χυτευσιμότητας. Σε αυτές τις ιδιότητες πρέπει να προστεθεί και μια ποικιλία υψηλών αντοχών μετά από θερμική κατεργασία. Επιπλέον η σειρά 3xx.x μπορεί να χυτευθεί με τις περισσότερες τεχνικές, από «χώμα» και χυτόπρεσσα μέχρι πολύπλοκα «κοχύλια» και με τις

μεθόδους του χαμένου κεριού και του χαμένου ομοιώματος πολυστερενίου καθώς και τις πολύ νέες «θιξοχύτευση» και χύτευση squeeze.

Μεταξύ των περισσότερο γνωστών είναι τα 319.0 356.0/A356.0 για «χώμα» και «κοχύλι», 360.0, 380.0/A380.0 και 390.0 για χυτόπρεσσα και 357.0/A357.0 για τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Το κράμα 332.0 είναι επίσης ένα πολύ διαδεδομένο κράμα που μπορεί να παραχθεί αποκλειστικά σχεδόν από ανακύκλωση.

Εφαρμογές:

Εικ.31.c Πλαίσιο του υπερσυμπιεστή για φορτηγό Mercedes από 356.0.

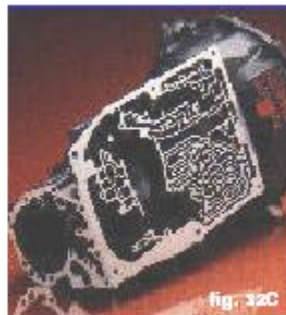
Εικ.32.c Το κιβώτιο ταχυτήτων επιβατηγού αυτοκινήτου σε χυτόπρεσσα από 380.0 κράμα.

Εικ.33.c Κιβώτιο πίσω κίνησης επιβατηγού από 380.0 κράμα χυτευμένο στο «χώμα».

Εικ.34.c Εξαρτήματα αυτοκινήτου από 357.0 και A357.0 χυτευμένα σε «χώμα» και σε «κοχύλι».

Εικ.35.c Χυτά της σειράς 3xx.x με τη μέθοδο του χαμένου ομοιώματος πολυστερίνης που παρέχει ιδιαίτερες λεπτομέρειες και πολυπλοκότητα.

Εικ.36.c Ζάντες αλουμινίου από A356.0.



4xx.x Κράματα Al-Si

- Δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Χυτεύονται σε «χώμα» «κοχύλι» και χυτόπρεσσα.
- Εξαιρετική χυτευσιμότητα πολύ καλή για περίπλοκα χυτά.
- Πλαίσια γραφομηχανών, εξοπλισμός οδοντιατρείου, παραθαλάσσιες εφαρμογές και διακοσμητικές.
- Αντιπροσωπευτικά κράματα: 413.0, 443.0
- Εύρος αντοχής σε εφελκυσμό: 131-275 Mpa

Το κράμα B413.0/AlSi12 είναι γνωστό για την καλή χυτευσιμότητα του και την καλή συγκολλησιμότητα που οφείλονται στην ευτηκτική του σύνθεση και το χαμηλό σημείο τήξης (570° C). Συνδυάζει μέτρια αντοχή με μεγάλη επιμήκυνση και καλή αντοχή σε διάβρωση. Το κράμα είναι καλό για πολύπλοκες λεπτές διατομές με καλή αντοχή σε κόπωση.



fig. 30C

fig. 35C



fig. 34C



**ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΧΥΤΕΥΣΗΣ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 : Όρια χημικής σύνθεσης των κατεργάσιμων κραμάτων αλουμινίου.

Α/Α	Si	Fe	Cu	Μη	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Άλλα		Al
										Καθένα	/ σύνολο	
1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05			0.05	0.03	0.03		99.50 min
1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03		...	0.05	0.03	0.03	...	99.60 min
1100	1.0 Si + Fe		0.05-0.20	0.05	...			0.10		0.05	0.15	99.00 min
1145	0.55 Si + Fe		0.05	0.05	0.05		...	0.05	0.03	0.03		99.45 min
1175	0.15 Si + Fe		0.10	0.02	0.02		...	0.04	0.02	0.02	...	99.75 min
1200	1.0 Si + Fe		0.05	0.05		...	...	0.10	0.05	0.05	0.15	99.00 min
1230	0.7 Si + Fe		0.10	0.05	0.05		...	0.10	0.03	0.03	...	99.30 min
1235	0.65 Si + Fe		0.05	0.05	0.05		...	0.10	0.06	0.03	...	99.35 min
1345	0.30	0.40	0.10	0.05	0.05		...	0.05	0.03	0.03	...	99.45 min
1350	0.10	0.40	0.05	0.01		0.01		0.05		0.03	0.10	99.50 min
2011	0.40	0.7	5.0-6.0		...			0.30		0.05	0.15	Rem
2014	0.50-1.2	0.7	3.9-5.0	0.40-1.2	0.20-0.8	0.10		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2017	0.20-0.8	0.7	3.5-4.5	0.40-1.0	0.40-0.8	0.10		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2018	0.9	1.0	3.5-4.5	0.20	0.45-0.9	0.10	1.7-2.3	0.25		0.05	0.15	Rem
2024	0.50	0.50	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.10		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2025	1.0	3.9-5.0	3.9-5	0.40-1.2	0.05	0.10		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2036	0.50	0.50	2.2-3.0	0.10-0.40	0.30-0.6	0.10	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2117	0.8	0.7	2.2-3.0	0.20	0.20-0.50	0.10		0.25	...	0.05	0.15	Rem
2124	0.20	0.30	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.10	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
2218	0.9	1.0	3.5-4.5	0.20	1.2-1.8	0.10	1.7-2.3	0.25		0.05	0.15	Rem
2219	0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02			0.10	0.02-0.10	0.05	0.15	Rem
2319	0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02	...	...	0.10	0.10-0.20	0.05	0.15	Rem
2618	0.10-0.25	0.9-1.3	1.9-2.7	...	1.3-1.8		0.9-1.2	0.10	0.04-0.10	0.05	0.15	Rem
3003	0.6	0.7	0.05-0.2	1.0-1.5		...		0.10		0.05	0.15	Rem
3004	0.30	0.7	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3			0.25		0.05	0.15	Rem
3005	0.6	0.7	0.30	1.0-1.5	0.20-0.6	0.10		0.25	0.10	0.05	0.15	Rem
3105	0.6	0.7	0.30	0.30-0.8	0.20-0.8	0.20	...	0.40	0.10	0.05	0.15	Rem
4032	11.0-13.5	1.0	0.5-1.3	...	0.8-1.3	0.10	0.50-1.3	0.25		0.05	0.15	Rem
4043	4.5-6.0	0.8	0.3	0.05	0.05			0.10	0.20	0.05	0.15	Rem
4045	9.0-11.0	0.8	0.3	0.05	0.05		...	0.10	0.20	0.05	0.15	Rem
4047	11.0-13.0	0.8	0.3	0.15	0.10			0.20		0.05	0.15	Rem
4145	9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.15	0.15	0.15		0.20		0.05	0.15	Rem
4343	6.8-8.2	0.8	0.25	0.10	...			0.20	...	0.05	0.15	Rem
4643	3.6-4.6	0.8	0.10	0.05	0.10-0.30		...	0.10	0.15	0.05	0.15	Rem
5005	0.30	0.7	0.2	0.20	0.50-1.1	0.10		0.25		0.05	0.15	Rem
5050	0.40	0.7	0.2	0.10	1.1-1.8	0.10	...	0.25	...	0.05	0.15	Rem
5052	0.25	0.40	0.1	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	...	0.10	...	0.05	0.15	Rem
5056	0.30	0.40	0.1	0.05-0.20	4.5-5.6	0.05-0.20		0.10		0.05	0.15	Rem
5083	0.40	0.40	0.1	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
5086	0.40	0.50	0.1	0.20-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
5154	0.25	0.40	0.1	0.10	3.1-3.9	0.15-0.35		0.20	0.20	0.05	0.15	Rem
5183	0.40	0.40	0.1	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
5252	0.08	0.10	0.1	0.10	2.2-2.8		...	0.05		0.03	0.10	Rem
5254	0.45 Si + Fe		0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.35		0.20	0.05	0.05	0.15	Rem
5356	0.25	0.40	0.1	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20		0.10	0.06-0.20	0.05	0.15	Rem
5454	0.25	0.40	0.1	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20		0.25	0.20	0.05	0.15	Rem
5456	0.25	0.40	0.1	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20		0.25	0.20	0.05	0.15	Rem
5457	0.08	0.10	0.2	0.15-0.45	0.8-1.2	...	...	0.05		0.03	0.10	Rem
5554	0.25	0.40	0.1	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20		0.25	0.05-0.20	0.05	0.15	Rem
5556	0.25	0.40	0.1	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20		0.25	0.05-0.20	0.05	0.15	Rem
5652	0.40 Si + Fe		0.04	0.01	2.2-2.8	0.15-0.35		0.10		0.05	0.15	Rem
5654	0.45 Si + Fe		0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.35	...	0.20	0.05-0.15	0.05	0.15	Rem
5657	0.08	0.10	0.1	0.03	0.6-1.0	...	...	0.05	...	0.02	0.05	Rem

6003	0.35-1.0	0.6	0.1	0.8	0.8-1.5	0.35		0.20	0.10	0.05	0.15	Rem
6005	0.6-0.9	0.35	0.1	0.10	0.40-0.6	0.01		0.10	0.10	0.05	0.15	Rem
6009	0.6-1.0	0.50	0.15-0.6	0.20-0.8	0.40-0.8	0.10		0.25	0.10	0.05	0.15	Rem
6010	0.8-1.2	0.50	0.15-0.6	0.20-0.8	0.60-1.0	0.10		0.25	0.10	0.05	0.15	Rem
6053		0.35	0.10		1.1-1.4	0.15-0.35		0.10	...	0.05	0.15	Rem
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	...	0.10	0.10	0.05	0.15	Rem
6066	0.9-1.8	0.50	0.7-1.2	0.6-1.1	0.8-1.4	0.40		0.25	0.20	0.05	0.15	Rem
6070	1.0-1.7	0.50	0.15-0.4	0.40-1.0	0.50-1.2	0.10	...	0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
6101	0.30-0.7	0.50	0.10	0.03	0.35-0.8	0.03	...	0.10		0.03	0.10	Rem
6105	0.6-1.0	0.35	0.10	0.10	0.45-0.8	0.10	...	0.10	0.10	0.05	0.15	Rem
6151	0.6-1.2	1.0	0.35	0.20	0.45-0.8	0.15-0.35		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
6162	0.40-0.8	0.50	0.20	0.10	0.7-1.1	0.10		0.25	0.10	0.05	0.15	Rem
6201	0.50-0.9	0.50	0.10	0.03	0.6-0.9	0.03		0.10		0.03	0.10	Rem
6253		0.50	0.10		1.0-1.5	0.04-0.35		1.6-2.4		0.05	0.15	Rem
6262	0.40-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.04-0.14		0.25	0.15	0.05	0.15	Rem
6351	0.7-1.3	0.50	0.10	0.40-0.8	0.40-0.8	...		0.20	0.20	0.05	0.15	Rem
6463	0.20-0.6	0.15	0.20	0.05	0.45-0.9		...	0.05	...	0.05	0.15	Rem
6951	0.20-0.50	0.8	0.15-0.4	0.10	0.40-0.8			0.20		0.05	0.15	Rem
7001	0.35	0.40	1.6-2.6	0.20	2.6-3.4	0.18-0.35		6.8-8.0	0.20	0.05	0.15	Rem
7005	0.35	0.40	0.10	0.20-0.7	1.0-1.8	0.06-0.20	...	4.0-5.0	0.01-0.06	0.05	0.15	Rem
7008	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	0.12-0.25		4.5-5.5	0.05	0.05	0.10	Rem
7016	0.10	0.12	0.45-1.0	0.03	0.8-1.4			4.0-5.0	0.03	0.03	0.10	Rem
7021	0.25	0.40	0.25	0.10	1.2-1.8	0.05	...	5.0-6.0	0.10	0.05	0.15	Rem
7029	0.10	0.12	0.5-0.9	0.03	1.3-2.0		...	4.2-5.2	0.05	0.03	0.10	Rem
7049	0.25	0.35	1.2-1.9	0.20	2.0-2.9	0.10-0.22	...	7.2-8.2	0.10	0.05	0.15	Rem
7050	0.12	0.15	2.0-2.6	0.10	1.9-2.6	0.04		5.7-6.7	0.06	0.05	0.15	Rem
7072	0.7 Si + Fe		0.10	0.10	0.10		...	0.8-1.3		0.05	0.15	Rem
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28		5.1-6.1	0.20	0.05	0.15	Rem
7175	0.15	0.20	1.2-2.0	0.10	2.1-2.9	0.18-0.28		5.1-6.1	0.10	0.05	0.15	Rem
7178	0.40	0.50	1.6-2.4	0.30	2.4-3.1	0.18-0.28		6.3-7.3	0.20	0.05	0.15	Rem
7475	0.10	0.12	1.2-1.9	0.06	1.9-2.6	0.18-0.25		5.2-6.2	0.06	0.05	0.15	Rem

Όλες οι τιμές αποτελούν μέγιστες εκτός από αυτές που έχουν άνω και κάτω όριο. Το υπόλοιπο είναι αλουμίνιο

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: Όρια χημικής σύνθεσης των χυτών κραμάτων Αλουμινίου

A/A	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Υπόλοιπα Καθένα / σύνολο	
201.0	0.10	0.15	4.0-5.2	0.20-0.50	0.15-0.55					0.15-0.35	0.05	0.10
A201.0	0.05	0.10	4.0-5.0	0.20-0.40	0.15-0.35					0.15-0.35	0.03	0.10
202.0	0.10		0.30	0.20-0.8	0.15-0.55	0.20-0.6				0.15-0.35	0.05	0.10
203.0	0.30	0.50	4.5-5.5	0.20-0.30	0.10		1.3-1.7	0.10		0.15-0.25	0.05	0.20
204.0	0.20		0.10	0.10	0.15-0.35		0.05	0.10	0.05	0.15-0.30	0.05	0.15
206.0	0.10	0.05	4.2-5.0	0.20-0.50	0.15-0.35		0.05	0.10	0.05	0.15-0.30	0.05	0.15
A206.0	0.05	0.10	4.2-5.0	0.20-0.50	0.15-0.35		0.05	0.10	0.05	0.15-0.30	0.05	0.15
208.0	2.5-3.5	1.2	1.0-3.0	0.50	0.10		0.35	1.0		0.25		0.50
213.0	1.0-3.0	1.2	2.0	0.6	0.10		0.35	2.5		0.25		0.50
222.0	2.0	1.5	0.06	0.50	0.15-0.35		0.50	0.8		0.25		0.35
224.0	0.06	0.10	4.5-5.5	0.20-0.50						0.35	0.03	0.10
238.0	3.5-4.5	1.5	9.0-11.0	0.6	0.15-0.35		1.0	1.5		0.25		0.50
240.0	0.50	0.5	0.7	0.30-0.7	5.5-6.5		0.30-0.7	0.10		0.20	0.05	0.15
242.0	0.7	1.0	0.6	0.35	1.2-1.8	0.25	1.7-2.3	0.35		0.25	0.05	0.15
A242.0	0.6	0.8	0.35	0.10	1.2-1.7	0.15-0.25	1.8-2.3	0.10		0.07-0.20	0.05	0.15
243.0	0.35	0.4	0.05	0.15-0.45	1.8-2.3	0.20-0.40	1.9-2.3	0.05		0.06-0.20	0.05	0.15
249.0	0.05	0.10	3.8-4.6	0.25-0.50	0.25-0.50			2.5-3.5		0.02-0.35	0.03	0.10
295.0	0.7-1.5	1.0	4.0-5.0	0.35	0.03			0.35		0.25	0.05	0.15
296.0	2.0-3.0	1.2	4.0-5.0	0.35	0.05		0.35	0.50		0.25		0.35
305.0	4.5-5.5	0.6	1.0-1.5	0.50	0.10	0.25		0.35		0.25	0.05	0.15
A305.0	4.5-5.5	0.2	5.0-6.0	0.10	0.10			0.10		0.20	0.05	0.15
308.0	5.0-6.0	1.0	5.5-6.5	0.50	0.10			1.0		0.25		0.50
319.0	5.5-6.5	1.0	3.0-4.0	0.50	0.10		0.35	1.0		0.25		0.50
A319.0	5.5-6.5	1.0	7.0-8.0	0.50	0.10		0.35	3.0		0.25		0.50
324.0	7.0-8.0	1.2	0.40-0.6	0.50	0.40-0.7		0.30	1.0		0.20	0.15	0.20
328.0	7.5-8.5	1.0	1.0-2.0	0.20-0.6	0.20-0.6	0.35	0.25	1.5		0.25		0.50
332.0	8.5-10.5	1.2	2.0-4.0	0.50	0.50-1.5		0.50	1.0		0.25		0.50
333.0	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.50	0.05-0.50		0.50	1.0		0.25		0.50
A333.0	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.50	0.05-0.50		0.50	3.0		0.25		0.50
336.0	11.0-13.0	1.2	0.50-1.5	0.35	0.7-1.3		2.0-3.0	0.35		0.25	0.05	...
339.0	11.0-13.0	1.2	1.5-3.0	0.50	0.50-1.5		0.50-1.5	1.0		0.25		0.50
343.0	6.7-7.7	1.2	0.50-0.9	0.50	0.10	0.10		1.2-2.0	0.5		0.10	0.35
354.0	8.6-9.4	0.20	1.6-2.0	0.10	0.40-0.6			0.10		0.20	0.05	0.15
355.0	4.5-5.5	0.6	1.0-1.5	0.50	0.40-0.6	0.25		0.35		0.25	0.05	0.15
C355.0	4.5-5.5	0.20	1.0-1.5	0.10	0.40-0.6	...		0.10		0.20	0.05	0.15
356.0	6.5-7.5	0.6	0.25	0.35	0.20-0.45	...		0.35		0.25	0.05	0.15
A356.0	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.25-0.45			0.10		0.20	0.05	0.15
F356.0	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.17-0.25			0.10		0.20	0.05	0.15
357.0	6.5-7.5	0.15	0.05	0.03	0.45-0.6			0.05		0.20	0.05	0.15
A357.0	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.40-0.7	...		0.10		0.10-0.20	0.05	0.15
358.0	7.6-8.6	0.30	0.20	0.20	0.40-0.6	0.20		0.20		0.10-0.20	0.05	0.15
359.0	8.5-9.5	0.20	0.20	0.10	0.50-0.7	...		0.10		0.20	0.05	0.15
360.0	9.0-10.0	2.0	0.6	0.35	0.40-0.6	...	0.50	0.50	0.15			0.25
A360.0	9.0-10.0	1.3	0.6	0.35	0.40-0.6		0.50	0.50	0.15			0.25
361.0	9.5-10.5	1.1	0.50	0.25	0.40-0.6	0.20-0.30	0.20-0.30	0.50	0.10	0.20	0.05	0.15
363.0	4.5-6.0	1.1	2.5-3.5		0.15-0.40		0.25	3.0-4.5	0.25	0.20		0.30
364.0	7.5-9.5	1.5	0.20	0.10	0.20-0.40	0.25-0.50	0.15	0.15	0.15		0.05	0.15
369.0	11.0-12.0	1.3	0.50	0.35	0.25-0.45	0.30-0.40	0.05	1.0	0.10		0.05	0.15
380.0	7.5-9.5	2.0	3.0-4.0	0.50	0.10		0.50	3.0	0.35			0.50
A380.0	7.5-9.5	1.3	3.0-4.0	0.50	0.10		0.50	3.0	0.35			0.50
B380.0	7.5-9.5	1.3	3.0-4.0	0.50	0.10		0.50	1.0	0.35			0.50
383.0	9.5-11.5	1.3	2.0-3.0	0.50	0.10	...	0.30	3.0	0.15			0.50
384.0	10.5-12.0	1.3	3.0-4.5	0.50	0.10	...	0.50	3.0	0.35			0.50
A384.0	10.5-12.0	1.3	3.0-4.5	0.50	0.10		0.50	1.0	0.35			0.50
385.0	11.0-13.0	2.0	2.0-4.0	0.50	0.30		0.50	3.0	0.30			0.50

390.0	16.0-18.0	1.3	4.0-5.0	0.10	0.45-0.65			0.10	...	0.20	0.10	0.20
A390.0	16.0-18.0	0.50	4.0-5.0	0.10	0.45-0.65	...		0.10		0.20	0.10	0.20
B390.0	16.0-18.0	1.3	4.0-5.0	0.50	0.45-0.65		0.10	1.5		0.20	0.10	0.20
392.0	18.0-20.0	1.5	0.40-0.8	0.20-0.6	0.8-1.2		0.50	0.50	0.30	0.20	0.15	0.50
393.0	21.0-23.0	1.3	0.7-1.1	0.10	0.7-1.3		2.0-2.5	0.10		0.10-0.20	0.05	0.15
413.0	11.0-13.0	2.0	1.0	0.35	0.10	...	0.50	0.50	0.15			0.25
A413.0	11.0-13.0	1.3	1.0	0.35	0.10	...	0.50	0.50	0.15			0.25
443.0	4.5-6.0	0.8	0.6	0.50	0.05	0.25		0.50		0.25		0.35
A443.0	4.5-6.0	0.8	0.30	0.50	0.05	0.25	...	0.50		0.25		0.35
8443.0	4.5-6.0	0.8	0.15	0.35	0.05		...	0.35		0.25	0.05	0.15
C443.0	4.5-6.0	2.0	0.6	0.35	0.10	...	0.50	0.50	0.15	...		0.25
444.0	6.5-7.5	0.6	50.25	0.35	0.10			0.35		0.25	0.05	0.15
A444.0	6.5-7.5	0.20	0.10	0.10	0.05			0.10		0.20	0.05	0.15
511.0	0.30-0.7	0.50	0.15	0.35	3.5-4.5			0.15	...	0.25	0.05	0.15
512.0	1.4-2.2	0.6	0.35	0.8	3.5-4.5	0.25	...	0.35		0.25	0.05	0.15
513.0	0.30	0.40	0.10	0.30	3.5-4.5		...	1.4-2.2		0.20	0.05	0.15
514.0	0.35	0.50	0.15	0.35	3.5-4.5			0.15		0.25	0.05	0.15
515.0	0.50-1.0	1.3	0.20	0.40-0.6	2.5-4.0		...	0.10		...	0.05	0.15
518.0	0.35	1.8	0.25	0.35	7.5-8.5		0.15	0.15	0.15	...		0.25
520.0	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6			0.15		0.25	0.05	0.15
535.0	0.15	0.15	0.05	0.10-0.25	6.2-7.5					0.10-0.25	0.05	0.15
A535.0	0.20	0.20	0.10	0.10-0.25	6.5-7.5					0.25	0.05	0.15
B535.0	0.15	0.15	0.10	0.05	6.5-7.5	...				0.10-0.25	0.05	0.15
705.0	0.20	0.20	0.20	0.40-0.6	1.4-1.8	0.20-0.40		2.7-3.3	...	0.25	0.05	0.15
707.0	0.20	0.8	0.20	0.40-0.6	1.8-2.4	0.20-0.40		4.0-4.5		0.25	0.05	0.15
710.0	0.15	0.5-0.7	0.35-0.65	0.05	0.6-0.8			6.0-7.0		0.25	0.05	0.15
711.0	0.30	0.7-1.4	0.35-0.65	0.05	0.25-0.45		...	6.0-7.0		0.20	0.05	0.15
712.0	0.30	0.50	0.25	0.10	0.50-0.65	0.40-0.6		5.0-6.5		0.15-0.25	0.05	0.20
713.0	0.25	1.1	0.40-1.0	0.6	0.20-0.50	0.35	0.15	7.0-8.0		0.25	0.10	0.25
771.0	0.15	0.15	0.10	0.10	0.8-1.0	0.06-0.20		6.5-7.5		0.10-0.20	0.05	0.15
772.0	0.15	0.15	0.1	0.10	0.6-0.8	0.06-0.20	...	6.0-7.0		0.10-0.20	0.05	0.15
850.0	0.7	0.7	0.7-1.3	0.10	0.10		0.7-1.3		5.5-7.0	0.20		0.30
851.0	2.0-3.0	0.7	0.7-1.3	0.10	0.10		0.30-0.7		5.5-7.0	0.20		0.30
852.0	0.40	0.7	1.7-2.3	0.10	0.6-0.9	...	0.9-1.5	...	5.5-7.0	0.20		0.30
853.0	5.5-6.5	0.7	3.0-4.0	0.50					5.5-6.0	0.20		0.30

Όλες οι τιμές αποτελούν μέγιστες εκτός από αυτές που έχουν άνω και κάτω όριο. Το υπόλοιπο είναι αλουμίνιο