
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΤΕ

ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΙΓΙΤΣΑΚΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων: Μπάζιος Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. Εισαγωγή	
1.1. Χρήση του αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία-ιστορική αναδρομή.....	7
1.2. Η παραγωγή του αλουμινίου.....	12
1.3. Το αλουμίνιο ως υλικό και οι ιδιότητες του.....	18
2. Το αλουμίνιο και τα κράματά του	
2.1. Είδη κραμάτων και οι ιδιότητες τους.....	19
2.1.1 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων.....	19
2.1.2 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης.....	44
2.2. Διαδικασία παραγωγής των κραμάτων.....	55
2.2.1 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης.....	59
2.2.2 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων.....	61
2.3. Η χρήση των κραμάτων του αλουμινίου στα διάφορα τμήματα του οχήματος.....	65

3. Διαμόρφωση και δομή των αμαξωμάτων

3.1. Σύγκριση ιδιοτήτων αλουμινίου και χάλυβα.....	83
3.2. Είδη αμαξωμάτων και σχεδιασμός αυτών.....	88
3.2.1 Συμβατικά αμαξώματα αλουμινίου.....	88
3.2.2 Αμαξώματα με χωροδικτύωμα (Space frame).....	93
3.2.3 Αμαξώματα με συνδυασμό υλικών.....	102

4. Μέθοδοι ένωσης επιμέρους τεμαχίων στο αμάξωμα

4.1. Ανάλυση μεθόδων και η αντοχή αυτών.....	108
4.1.1 Ένωση με χρήση κόλλας.....	108
4.1.1.1 Είδη καταπονήσεων και προετοιμασία της σύνδεσης.....	111
4.1.1.2 Είδη συγκολλητικών.....	115
4.1.1.3 Μέθοδοι εφαρμογής της κόλλας.....	120
4.1.2 Ένωση με χρήση ήλων.....	121
4.1.2.1 Τυφλοί ήλοι.....	123
4.1.2.2 Αυτό-διάτρητοι ήλοι.....	127
4.1.3 Ένωση με χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης.....	129
4.1.3.1 Ηλεκτροσυγκόλληση MIG.....	133
4.1.3.2 Ηλεκτροσυγκόλληση TIG.....	138
4.2. Σύγκριση μεθόδων-πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	141

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	144
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	145

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Άλλος ένας μαραθώνιος έφτασε προς το τέλος του και αυτό μέσα από σκληρό αγώνα και ανεξάντλητη προσπάθεια και επιμονή. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Στυλιανό και Χάιδω, για τη διαρκή συμπαράσταση τους αλλά και υποστήριξη από τη μεριά τους αλλά και τα αδέρφια μου, Αναστάσιο και Ανδρονίκη, για τη κατανόηση που έδειξαν κατά το διάστημα της προετοιμασίας αλλά την υποστήριξη που μου έδειξαν με τον δικό τους τρόπο. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη κοπέλα μου, Ιβάννα, η οποία με παρότρυνε συνεχώς στη προσπάθεια μου αυτή και με ωθούσε στη πραγμάτωση του έργου μου με τον δικό της μαγικό τρόπο. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Κ. Ι. Μπάτζιο, ο οποίος ήταν παρών σε κάθε στιγμή της συγγραφής της εργασίας μου και με συμβούλευε σχετικά με τη διαμόρφωση της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί η χρήση του αλουμινίου ως υλικό για τη κατασκευή στα αμαξώματα των οχημάτων όπου χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση του χάλυβα με σκοπό τη μείωση της μάζας αυτών. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται ιστορικά στοιχεία αναφορικά με τη χρήση του αλουμινίου στα οχήματα των προηγούμενων ετών καθώς και εξέλιξη που ακολούθησε ως προς χρήση του στη κατασκευή οχημάτων ενώ αναλύεται η διαδικασία με την οποία παράγεται το αλουμίνιο καθώς και οι ιδιότητες του. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των κραμάτων που είναι δυνατόν να παραχθούν, η διαδικασία με την οποία παράγονται και διαμορφώνονται, οι ιδιότητες αυτών, τα οφέλη που παρουσιάζονται στη κατασκευή αλλά και σε ποιιά τμήματα του αμαξώματος συνίσταται η χρήση τους ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση των διάφορων διαμορφώσεων των σύγχρονων αμαξωμάτων και αναλύονται τα είδη των αμαξωμάτων που υπάρχουν στη σύγχρονη αυτοκινητοβιομηχανία. Αναλύονται επίσης οι διαφορές στη δομή και στη διαμόρφωση αυτής ώστε να έχουμε ίση ή και καλύτερη αντοχή και ακαμψία από ότι θα είχαμε αν χρησιμοποιούσαμε χάλυβα. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διάφοροι τρόποι στην ένωση των επιμέρους τεμαχίων στο αμάξωμα του οχήματος όπως η χρήση κόλλας, η ηλεκτροσυγκόλληση αλλά και μέσω ήλων όπου παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών ως προς τη αντοχή του αμαξώματος κατά τη φόρτιση του αλλά και τα οφέλη ως προς τη μείωση της μάζας της κατασκευής.

ABSTRACT

In the following thesis with the title ‘‘Aluminium as construction material in vehicles’’ is going to be presented the use of aluminium as a material for the construction of passenger vehicle bodyworks where it is used as an alternative solution of steel with main purpose the reduction of their mass. In the first chapter are mentioned historical data about the use of aluminium in the earlier vehicles as well as the development which followed in its use in vehicles construction while is analyzed the process by which aluminium is produced as well as its properties. In the second chapter are analyzed the alloys groups, the process by which they are produced and formed, their properties, the benefits which they provide in vehicle’s construction as well as the vehicle’s bodywork components in which their use is recommended in order to get the best possible result. In the third chapter are explained the various configurations of modern bodyworks and are analyzed the groups of bodyworks which exist in modern automotive industry. There also analyzed the differences in structure and its configuration in order to get equal or better strength and stiffness than the solution with use of steel. Finally, in the fourth chapter are introduced the various methods of joining the vehicle’s bodywork parts such as adhesive bonding, arc welding but also with the help of rivets, showing their advantages and disadvantages in terms of strength of bodywork during its loading as well as the benefits in its mass reduction.

1. Εισαγωγή

1.1. Χρήση του αλουμινίου στην αυτοκινητοβιομηχανία-ιστορική αναδρομή

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια από τις αυτοκινητοβιομηχανίες στην παραγωγή διάφορων εξαρτημάτων για τα οχήματα, όπως έμβολα κινητήρων, κεφαλές και ελαιολεκάνες, τροχοί αλλά και διάφορα λαμαρινοτεμάχια. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα η εφαρμογή του έχει εξαπλωθεί πέρα από τα προαναφερθέντα στη κατασκευή δομικών στοιχείων στο σύστημα ανάρτησης, στη κατασκευή πλαισίων και αμαξωμάτων αλλά και διάφορων εξαρτημάτων στον χώρο του κινητήρα όπως οι εναλλάκτες θερμότητας. Η χρήση του βέβαια στην κατασκευή πλαισίων, αμαξωμάτων και αναρτήσεων δεν ήταν εύκολη υπόθεση λόγω της έλλειψης επαρκούς τεχνογνωσίας όπως και του σχετικά υψηλότερου κόστους σε σύγκριση με τον χάλυβα. Από τις αρχές του 1900 ξεκίνησε η χρήση στη κατασκευή κινητήρων αυτοκινήτων όπου και παρουσιάστηκε το πρώτο όχημα από την *BENZ* το 1901.[1] [Εικόνα 1]



Εικόνα 1 - Το όχημα της BENZ που κατασκευάστηκε το 1901 [1]

Στη συνέχεια ακολούθησε η κατασκευή με την χρήση κραμάτων του αλουμινίου περιβλημάτων για κιβώτια μετάδοσης αλλά και εμβόλων κινητήρων. Το 1908 η *BUGGATI* παρουσίασε ένα όχημα στο οποίο ήταν εκτενής η χρήση αλουμινίου και κραμάτων αυτού η κατασκευή του οποίου περιελάμβανε δομικά στοιχεία από αλουμίνιο που ήταν κατασκευασμένα μέσω χύτευσης σε καλούπια από άμμο ενώ περιείχε και πολλά δομικά στοιχεία τα οποία συγκολλούνταν με τη χρήση οξυγονοκόλλησης. [1] [Εικόνα 2]



Εικόνα 2 - Το όχημα της BUGGATI που κατασκευάστηκε το 1908 [1]

Σπουδαίο παράδειγμα ως προς τη χρήση του αλουμινίου αποδείχθηκε η Αμερικάνικη εταιρία κατασκευής οχημάτων *PIERCE ARROW* η οποία από το 1912 έως και το 1918 κατασκεύαζε τα αμαξώματα που χρησιμοποιούσε στα οχήματα της μέσω χύτευσης σε μεγάλο μεγέθους καλούπια από άμμο ενώ τα επιμέρους τεμάχια συγκολλούνταν μεταξύ τους κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης. (Εικόνα 3) Το πάχος των χυτών τεμαχίων κυμαινόταν μεταξύ 3.2mm και 6.4mm ανάλογα με την περιοχή και τα φορτία που δεχόταν ενώ το σύνολο παρόλο που ήταν χυτό είχε σχετικά καλή εμφάνιση και ήταν ανθεκτικό με αξιοσέβαστη αντοχή. Ιδιαίτερα κατά τις δεκαετίες του 1920 και 1930 πολλές ευρωπαϊκές εταιρίες ασχολήθηκαν με την κατασκευή αμαξωμάτων σε περιορισμένης κυρίως παραγωγής οχήματα όπου είχαν καταφέρει να επιτύχουν εξαιρετική εμφάνιση σε αυτά παρά την έλλειψη επαρκούς τεχνογνωσίας. [1]

Χρειάστηκαν πάνω από 60 χρόνια, λόγω της υψηλής τιμής του αλουμινίου και των δυσκολιών που εμφανίζονταν στη επεξεργασία του μετάλλου, ώστε να γίνει ευρέως διαδεδομένο στην αυτοκινητοβιομηχανία. Το 1961 η *LAND ROVER* χρησιμοποίησε το αλουμίνιο για την κατασκευή του οχτακύλινδρου V κινητήρα στο μαζικής παραγωγής όχημα της *BUICK 125*. Η

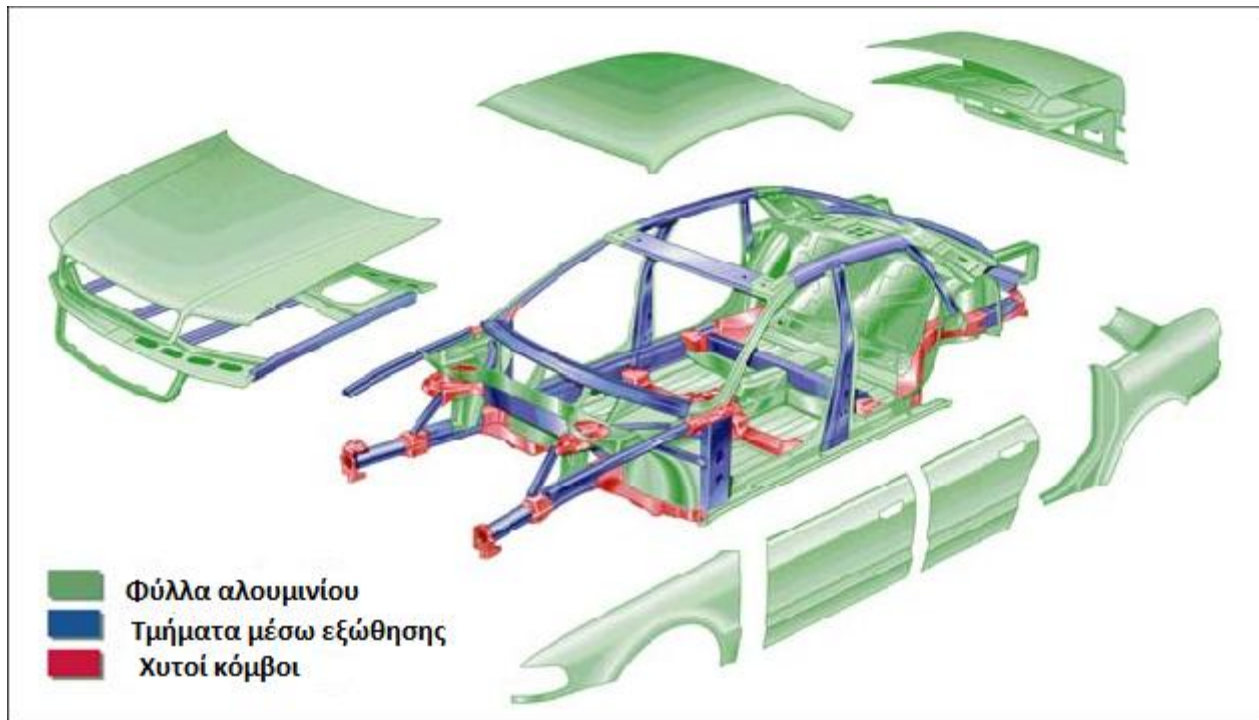
ελαφριά κατασκευή του κινητήρα αποτέλεσε αποκάλυψη στο κόσμο της αυτοκίνησης και έγινε γρήγορα επιτυχημένο. [1]



Εικόνα 3 - Το όχημα της PIERCE ARROW που κατασκευάστηκε από το 1912 μέχρι το 1918 [1]

Το σπουδαιότερο παράδειγμα στη χρήση αλουμινίου είναι η *AUDI*. Η *NSU*, πριν την συγχώνευση με την *AUTO UNION* και την δημιουργία της *AUDI*, κατασκεύασε το πρώτο της αυτοκίνητο με αμάξωμα εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο μόλις το 1913. Το 1923 η ίδια εταιρία ανακοίνωσε την δημιουργία ενός εξακύλινδρου κινητήρα κατασκευασμένο από κράματα του αλουμινίου. Παράλληλα την ίδια χρονιά πειραματιζόταν με ένα νέο βελτιωμένο αμάξωμα το οποίο προοριζόταν για το όχημα της με όνομα *TYPE K*. Τη δεκαετία του 1980 η *AUDI* πλέον άρχισε να επανεξετάζει τη χρήση του αλουμινίου και τελικά κατασκεύασε το *AUDI 100* του οποίου το αμάξωμα βασιζόταν κατά ένα μεγάλο ποσοστό στη χρήση αλουμινίου. Η ίδια εταιρία, στην έκθεση αυτοκινήτων της Φρανκφούρτης του 1991, παρουσίασε ένα πρωτότυπο όχημα, το *AUDI quattro spyder*, το οποίο εντυπωσίασε λόγω του αμαξώματος του που ήταν κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Ο ίδιος χώρος επιλέχθηκε και πάλι για την παρουσίαση ενός νέου οχήματος, του *AUDI A8* το φθινόπωρο του 1993, στου οποίου τη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν εξ ολοκλήρου νέες μέθοδοι κατασκευής που αποτελούσαν πολύ περισσότερο από ότι μια απλή αντικατάσταση του χάλυβα με αλουμίνιο ως υλικό κατασκευής. Το όχημα αυτό βασιζόταν στην τεχνολογία *AUDI SPACE FRAME* κατά την οποία σε ένα πλαίσιο αλουμινίου υψηλής αντοχής ενσωματώθηκαν τα μεγαλύτερα στοιχεία από φύλλο αλουμινίου δημιουργώντας

έτσι μια φέρουσα κατασκευή. Τα τμήματα του πλαισίου από αλουμίνιο που παράγονταν μέσω εξώθησης συνδέονταν μέσω πίεσης με χυτά κομβικά στοιχεία. [2] [Εικόνα 4]



Εικόνα 4 – AUDI SPACE FRAME [3]

Αυτό ήταν η αφορμή για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κατασκευής αλλά και επεξεργασίας του ίδιου του υλικού. Επιπλέον, ως εναλλακτική λύση της σύνδεσης των επιμέρους τμημάτων με ηλεκτροσυγκόλληση αλλά και χρήση κόλλας εφαρμόστηκε η χρήση ήλων. Μόλις το 1999 παρουσιάστηκε το πρώτο αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής με αλουμινένιο πλαίσιο από την *AUDI*. Το *AUDI A2* χρησιμοποιούσε τη δεύτερη γενιά της γνωστής πλέον τεχνολογίας *AUDI SPACE FRAME* όπου το αμάξωμα ήταν και πάλι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο. Το αμάξωμα αποτελούνταν από 60% φύλλα αλουμινίου, 22% χυτά τμήματα αλουμινίου και 18% από τμήματα αλουμινίου κατασκευασμένα μέσω εξώθησης, ζυγίζοντας έτσι 156 κιλά τιμή κατά πολύ μικρότερη συγκριτικά με ένα συμβατικό αμάξωμα κατασκευασμένο από χάλυβα. Μία επίσης καινοτόμα τεχνολογία ήταν η χρήση δέσμης λέιζερ για τη συγκόλληση των διάφορων στοιχείων του αμαξώματος, όπου στη περίπτωση του *AUDI A2* το σύνολο των ραφών μέσω συγκόλλησης με δέσμη λέιζερ άγγιζε συνολικά τα 30 μέτρα. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι ήλοι υπό τη μορφή κυρίως τυφλών πριτσινιών και σπανιότερα αυτοστερέωτων με διαφορετικές διαστάσεις από αυτούς που χρησιμοποιούνται στην ένωση τεμαχίων από χάλυβα, με τις ενώσεις που δεν δέχονται σημαντικά φορτία να φέρουν ήλους από αλουμίνιο ενώ

αυτές που καταπονούνται σημαντικά να φέρουν ήλους από χάλυβα υψηλότερης αντοχής σε σχέση από αυτούς με αλουμίνιο έχοντας όμως ειδική προστατευτική επικάλυψη ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση κατά την επαφή με αλουμινένια τεμάχια. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε εναλλακτικά η συγκόλληση με τη μέθοδο MIG η οποία πρόκειται για ηλεκτροσυγκόλληση τόξου αλλά διαφέρει από την κοινή ως προς τον τρόπο που παρέχεται το ηλεκτρόδιο όπου έχουμε συνεχή τροφοδοσία και ως προς τη μη ύπαρξη προστατευτικού στρώματος μετά το πέρας της συγκόλλησης όπως έχουμε στη συμβατική. Όλες αυτές οι προηγμένες για την εποχή εκείνη τεχνολογίες σύνδεσης αλλά και διαμόρφωσης των επιμέρους τμημάτων συνεισέφεραν στη επίτευξη ανοχών της τάξης των 0.15mm, τιμή εξαιρετική αν αναλογιστεί κανείς ότι αναφέρονται σε όχημα μαζικής παραγωγής. [2]

Επιπλέον το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε ευρέως και από άλλους κατασκευαστές στην κατασκευή πλαισίων με σπουδαίο παράδειγμα την *LOTUS*, η οποία αποφεύγοντας τη μέθοδο της χύτευσης για την παραγωγή των επιμέρους τμημάτων επικεντρώθηκε αποκλειστικά στην χρήση της μεθόδου της διέλασης η οποία πλεονεκτεί ως προς το κόστος αλλά και στο εύρος του πάχους των κομματιών που μπορούν να παραχθούν. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι τα επιμέρους αυτά τεμάχια πρέπει να ενωθούν όπου και χρησιμοποιήθηκε κόλλα και συγκεκριμένα ρητίνη υψηλής αντοχής με την οποία πέρα από την λύση του προβλήματος της ένωσης των επιμέρους τεμαχίων επιτεύχθηκε και μείωση της μάζας. [4]

1.2. Η παραγωγή του αλουμινίου

Το αλουμίνιο παράγεται μέσω του βωξίτη, ένα ορυκτό υλικό, το οποίο μετά από επεξεργασία 2 σταδίων μας επιτρέπει τη παραγωγή του καθαρού αλουμινίου, ενώ σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιείται και ο νεφελίνης ένα επίσης ορυκτό υλικό. Ο βωξίτης είναι ένα υλικό αποτελούμενο από ένα συνδυασμό ορυκτών όπως υδροξείδια του αργιλίου, οξειδία του σιδήρου και οξειδία του τιτανίου. Έχει κόκκινο προς κίτρινο χρώμα, είναι αδιάλυτος στο νερό και ανθεκτικός σε υψηλές θερμοκρασίες.[5] Από την άλλη πλευρά ο νεφελίνης αποτελεί ένα ορυκτό άλας αργιλίου και νατρίου με χημικό τύπο $\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ και έχει λευκό χρώμα. (Εικόνα 5) [6] Αρχικά προηγείται η επεξεργασία BAYER όπου ο βωξίτης μετατρέπεται σε οξείδιο του αργιλίου ή αλλιώς αλουμίνα (Al_2O_3) υπό τη μορφή σκόνης. Ακολουθεί η επεξεργασία HALL-HEROULT κατά την οποία το οξείδιο του αργιλίου μετατρέπεται σε καθαρό αλουμίνιο. [7] [Εικόνα 6]



Εικόνα 5 – Το υλικό κατά τα 2 στάδια επεξεργασίας [7]

Κατά την επεξεργασία BAYER, ο βωξίτης, ο οποίος αποτελείται κατά 45-60% από οξείδιο του αργιλίου μαζί με διάφορες ακαθαρσίες όπως άμμο, σίδηρο και άλλα μέταλλα, διέρχεται αρχικά μέσω ειδικών ανιχνευτών ώστε να ταξινομηθούν τα διάφορα επιμέρους κομμάτια του κατά μέγεθος, ενώ στη συνέχεια συνθλίβονται ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφο υλικό. [7]

Το υλικό αυτό οδηγείται στη συνέχεια σε ένα μεγάλο μύλο άλεσης όπου και αναμιγνύεται με διάλυμα καυστικής σόδας ή αλλιώς υδροξείδιο του νατρίου κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Η καυστική σόδα χρησιμοποιείται για τη διάλυση των ενώσεων οξειδίου του αργιλίου που βρίσκονται στο βωξίτη, διαχωρίζοντάς τις από τις ακαθαρσίες ενώ εκτός από την καυστική σόδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετα και άλλες χημικές ουσίες σε μικρή ποσότητα όπως το ασβέστιο και το θειούχο νάτριο. Εσωτερικά του μύλου άλεσης, ο οποίος περιστρέφεται σαν ένα τεράστιο τύμπανο, υπάρχουν χαλύβδινοι ράβδοι οι οποίοι κυλούν ελεύθερα μέσα στο μύλο αλέθοντας το υλικό. [7]

Η χημική αντίδραση κατά την ανάμειξη του βωξίτη με την καυστική σόδα είναι η εξής[9]:



Κατά την επεξεργασία του υλικού προκύπτει μια ποσότητα υγρού το οποίο περιέχει ένα διάλυμα αργλικού νατρίου και αδιάλυτα υπολείμματα βωξίτη που περιέχουν σίδηρο, πυρίτιο και τιτάνιο. Αυτά τα υπολείμματα, κοινώς αναφερόμενα ως κόκκινη λάσπη, βυθίζονται σταδιακά στο πυθμένα της δεξαμενής και αφαιρούνται. Ακολουθεί η αφαίρεση του υλικού από το μύλο και η

προσθήκη του σε ένα χωνευτήρα όπου λαμβάνει χώρα η χημική αντίδραση για την διάλυση του οξειδίου του αργιλίου. Στο χωνευτήρα το υλικό κάτω από πίεση 3,45 bar θερμαίνεται στους 110-270 C° και παραμένει από 30 λεπτά έως και πολλές ώρες. Στη συνέχεια προστίθεται περαιτέρω ποσότητα καυστικής σόδας ώστε να διαλύσει τις ενώσεις εντός του υλικού που περιέχουν αλουμίνιο. Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται ένα διάλυμα αργιλικού νατρίου, ενώ επειδή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε περιβάλλον υψηλής πίεσης το υλικό περνάει πρώτα από δεξαμενές φλόγας ώστε να μειωθεί η πίεση και η θερμοκρασία αυτού πριν τη μεταφορά του σε δεξαμενές καθίζησης. Η καθίζηση επιτυγχάνεται κυρίως με τη βοήθεια της βαρύτητας αν και προστίθενται κάποιες χημικές ουσίες ώστε να επιταχύνουν τη διαδικασία ώστε ακαθαρσίες του υλικού, όπως άμμος, σίδηρος και άλλα στοιχεία που δεν διαλύονται, να μεταφερθούν και να παραμείνουν στο πυθμένα. [7]

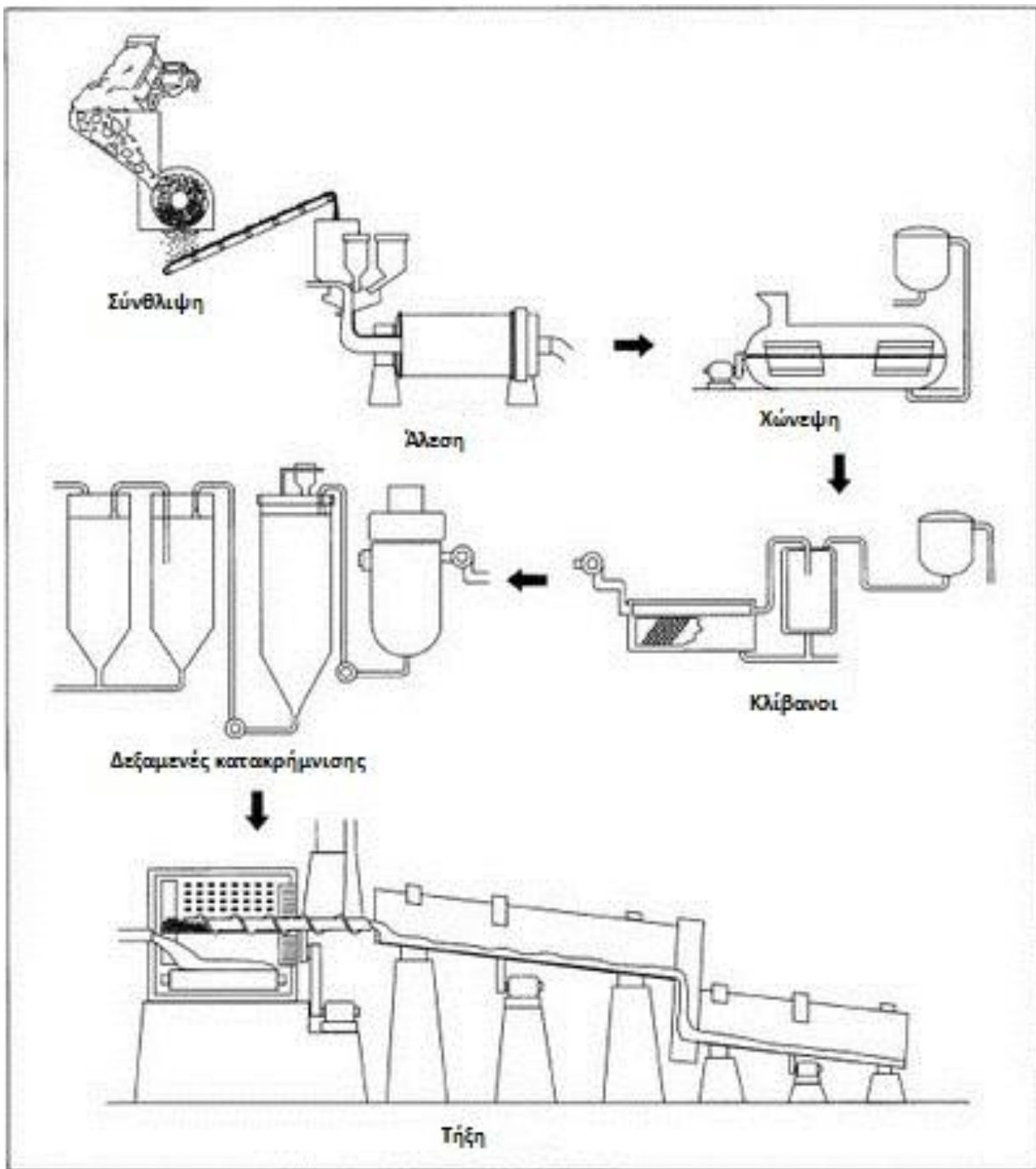
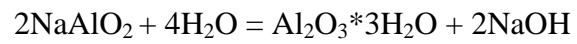
Το υγρό που βρίσκεται στη κορυφή της δεξαμενής κατευθύνεται διαμέσου μια σειράς φίλτρων όπου μετά το πλύσιμο για την ανάκτηση του οξειδίου του αργιλίου και της καυστικής σόδας τα εναπομείναντα υπολείμματα (κόκκινη λάσπη) μεταφέρονται σε μεγάλες δεξαμενές όπου και ξηραίνονται μέσω εξάτμισης. Το οξείδιο του αργιλίου, το οποίο βρίσκεται ακόμα στο θερμό υγρό, αποτελείται από μικροσκοπικούς, αιωρούμενους κρυστάλλους ενώ εξακολουθούν να υπάρχουν κάποιες πολύ μικρές στερεές ακαθαρσίες που πρέπει να αφαιρεθούν. Τα μεγάλα μεγέθους φίλτρα, μέσα από τα οποία περνάει το υγρό, αποτελούνται από μια σειρά φίλτρων από ύφασμα τα οποία είναι στερεωμένα πάνω σε χαλύβδινα πλαίσια και βοηθούν στην απομάκρυνση των περισσότερων από τα στερεά υπολείμματα που βρίσκονται μέσα στο υγρό. Το υλικό που συλλαμβάνεται από τα φίλτρα πλένεται ώστε να αφαιρεθεί το οξείδιο του αργιλίου και η καυστική σόδα ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η ψύξη του φιλτραρισμένου υγρού, το οποίο αποτελεί ένα διάλυμα αργιλικού νατρίου, και η μεταφορά του στους κατακρημνιστές. [7]

Χημική αντίδραση κατά την καθίζηση[7]:



Το καθαρό πλέον αργιλικό νάτριο, αφού έχει ήδη περάσει από τις διαδικασίες της καθίζησης και του φιλτραρίσματος, οδηγείται στους κατακρημνιστές οι οποίοι αποτελούν μια σειρά από τεράστιες δεξαμενές με ύψος ίσο με αυτό ενός κτιρίου έξι ορόφων. Στη συνέχεια προστίθενται μικρά σωματίδια οξειδίου του αργιλίου, τα οποία ονομάζονται σπόροι κρυστάλλων, και χρησιμεύουν για την εκκίνηση της διαδικασίας της κατακρήμνισης των σωματιδίων του οξειδίου του αργιλίου ενώ παράλληλα το υγρό ψύχεται. [7]

Χημική αντίδραση κατά την κατακρήμνιση[9]:



Εικόνα 6 – Διαδικασίες κατά την παραγωγή του αλουμινίου [7]

Οι κρύσταλλοι του οξειδίου του αργιλίου αρχίζουν να αναπτύσσονται γύρω από τους σπόρους και στη συνέχεια εγκαθίστανται στο πυθμένα της δεξαμενής από όπου και απομακρύνονται για

να μεταφερθούν σε ειδικές δεξαμενές υπό υψηλή πίεση ώστε να αυξηθεί η πυκνότητα τους. Τέλος, αφού φιλτραριστούν ξανά, μεταφέρονται σε κλιβάνους όπου θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Στη συνέχεια ακολουθεί η πύρωση η οποία είναι μια διαδικασία θέρμανσης για την απομάκρυνση του χημικά συνδυασμένου ύδατος από το οξείδιο του αργιλίου. Από τη κατακρήμνιση, το οξείδιο του αργιλίου φιλτράρεται και πλένεται ώστε να απομακρυνθούν οι ακαθαρσίες και η υγρασία και αμέσως μετά μεταφέρεται μέσω ενός συστήματος συνεχούς μεταφοράς στο κλίβανο πύρωσης όπου θερμαίνεται στους 1100 C°. Ο κλίβανος, ο οποίος θερμαίνεται μέσω της καύσης αερίου, έχει εσωτερική επένδυση από τούβλα ενώ περιστρέφεται ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη ξήρανση του οξειδίου του αργιλίου. Ο κλίβανος είναι τοποθετημένος σε κεκλιμένο θεμέλιο το οποίο επιτρέπει στο οξείδιο του αργιλίου να περνάει διαμέσου ενός ειδικού εξοπλισμού ψύξης. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά το στάδιο της πύρωσης του υλικού εντός των κλιβάνων, όπου αφαιρείται το νερό από το υλικό που αποτελεί κυρίως οξείδιο του αργιλίου και ουσιαστικά έχουμε τη μετατροπή του αργιλικού νατρίου σε οξείδιο του αργιλίου, είναι η εξής :



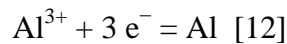
Το αποτέλεσμα είναι μια λευκή σκόνη, το οξείδιο του αργιλίου, καθαρό και απαλλαγμένο από οποιαδήποτε σωματίδια ενώ η καυστική σόδα που χρησιμοποιήθηκε επιστρέφει στην αρχή της διαδικασίας όπου και ξαναχρησιμοποιείται. [7]

Για τη μετατροπή του οξειδίου του αργιλίου σε καθαρό αλουμίνιο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τηγμένος κρυόλιθος (Na_3AlF_6) όπου κατά τη χρήση του επιτυγχάνεται η διάλυση του οξειδίου του αργιλίου ενώ η χημική αντίδραση που προκύπτει θα είχε ως αποτέλεσμα τη παραγωγή αλουμινίου. [12]

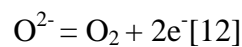
Κατά την επεξεργασία HALL-HEROULT, η οποία λαμβάνει χώρα μέσα σε μια χαλύβδινη δεξαμενή με επικάλυψη άνθρακα ή γραφίτη ονομαζόμενη και ως δοχείο μείωσης, πραγματοποιείται η μετατροπή του οξειδίου του αργιλίου σε αλουμίνιο υπό υγρή αρχικά μορφή. Το κλειδί για τη χημική αντίδραση που απαιτείται για τη μετατροπή του οξειδίου του αργιλίου σε αλουμίνιο είναι η χρήση ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διέρχεται διαμέσου του μίγματος κρυόλιθου-οξειδίου του αργιλίου. Ο κρυόλιθος, ο οποίος αποτελεί μια χημική ένωση νατρίου και φθορίου, χρησιμοποιείται ως ηλεκτρολύτης για τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διαδικασία της τήξης του οξειδίου του αργιλίου. Λόγω των τεράστιων ποσών ενέργειας που απαιτούνται για τη παραγωγή του αλουμινίου επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό η ιδανική θέση των εργοστασίων παραγωγής αλουμινίου τα οποία βρίσκονται σχεδόν πάντα σε περιοχές όπου

υπάρχει άμεσα διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια και σε ανεκτή τιμή. Η τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιείται σε ένα τυπικό δοχείο μείωσης είναι μόνο 5,25 Volt αλλά η ένταση αυτού είναι πολύ υψηλή και κυμαίνεται από 100000 έως 150000 Ampere ή μερικές φορές και περισσότερο. Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει ανάμεσα από μια άνοδο από άνθρακα και μια κάθοδο η οποία σχηματίζεται από την παχιά επένδυση άνθρακα ή γραφίτη του δοχείου. [7]

Χημική αντίδραση στη κάθοδο:



Χημική αντίδραση στη άνοδο:



Η χημική αντίδραση κατά την τήξη του οξειδίου του αργιλίου και την μετατροπή σε αλουμίνιο είναι η εξής[9]:



Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από το μίγμα ο άνθρακας της ανόδου αντιδρά με το οξυγόνο στο οξείδιο του αργιλίου και η χημική αντίδραση που προκύπτει έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή αλουμινίου και διοξειδίου του άνθρακα. Το λιωμένο αλουμίνιο βυθίζεται στο πάτο της δεξαμενής όπου περιοδικά απορροφάται μέσα σε χοάνη ενώ το διοξείδιο του άνθρακα διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Ως διαδικασία δεν θεωρείται οικολογική λόγω των σημαντικών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται μέσω αυτής και για αυτό το λόγο επιδιώκεται η εκμετάλλευση των ήδη χρησιμοποιημένων ποσοτήτων αλουμινίου οι οποίες προορίζονται για ανακύκλωση και συνήθως αναμειγνύονται με το νέο προς παραγωγή υλικό. [7]



Κατά τη διαδικασία αυτή, μια ποσότητα κρυσταλλικού χάνεται ενώ το οξείδιο του αργιλίου αναπληρώνεται συνεχώς από δοχεία αποθήκευσης τα οποία βρίσκονται πάνω από τα δοχεία μείωσης. Το μέταλλο είναι πλέον έτοιμο να σφυρηλατηθεί, να μετατραπεί σε κράματα ή να εξωθηθεί στα επιθυμητά σχήματα και στις απαραίτητες μορφές που απαιτούνται στη κάθε περίπτωση. [7]

Θεωρητικά χρειάζονται 6,34 kWh για τη παραγωγή ενός κιλού αλουμινίου αλλά αυτή η τιμή διαφέρει από τη πραγματική σε μεγάλο βαθμό λόγω της θερμότητας που χάνεται, η οποία παράγεται βεβαίως με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, στα τοιχώματα των διάφορων δεξαμενών

από τις οποίες περνάει το υλικό στις διάφορες φάσεις κατά το στάδιο της παραγωγής του ενώ η πραγματική τιμή ως προς τη κατανάλωση ρεύματος κυμαίνεται στα 15,7 kWh για τη παραγωγή ενός κιλού έτοιμου προς χρήση ή επεξεργασία αλουμινίου. [9]

Η παραγωγή του αλουμινίου λαμβάνει χώρα στους 900 C^ο περίπου ενώ σε μερικά χυτήρια, αυτή η παραπάνω θερμότητα χρησιμοποιείται για τη τήξη των ποσοτήτων αλουμινίου που προορίζονται για ανακύκλωση οι οποίες στη συνέχεια αναμειγνύονται με το νέο μέταλλο. Είναι άξιο αναφοράς ότι το ανακυκλωμένο αλουμίνιο απαιτεί μόνο το 5% της ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή νέου μετάλλου. Η ανάμειξη ανακυκλωμένου αλουμινίου με νέο μέταλλο επιτρέπει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας σχεδόν ανάλογη της ποσόστωσης του ανακυκλωμένου αλουμινίου που προστίθεται, καθώς και αποτελεσματική χρήση της επιπλέον θερμότητας που διατίθεται ενώ όσον αφορά τη ποιότητα, δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ του πρωτογενούς και του ανακυκλωμένου αλουμινίου. Η διαδικασία τήξης που απαιτείται για τη παραγωγή αλουμινίου από το οξείδιο του αργιλίου είναι συνεχής και συνήθως διατηρείται στη παραγωγή 24 ώρες το εικοσιτετράωρο για όλο το χρόνο.[7]

Ένα χυτήριο δε μπορεί εύκολα να σταματήσει και να ξαναρχίσει, ενώ αν η παραγωγή διακοπεί λόγω διακοπής τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος με διάρκεια μεγαλύτερη των τεσσάρων ωρών, το μέταλλο στις δεξαμενές θα στερεοποιηθεί το οποίο συχνά απαιτεί μια σχετικά δαπανηρή διαδικασία ανοικοδόμησης. Να σημειωθεί ότι τα περισσότερα εργοστάσια παραγωγής αλουμινίου παράγουν αλουμίνιο με 99,7% καθαρότητα ποσοστό αποδεκτό για τις περισσότερες εφαρμογές. Ωστόσο σε μερικές απαιτητικές εφαρμογές με απαιτήσεις υψηλής ολκιμότητας του τελικού προϊόντος το ποσοστό αυτό δεν είναι αποδεκτό και απαιτείται 99,99%, ενώ παρόλο τη μικρή διαφορά μεταξύ των δύο περιεκτικότητων οι διαφορές στις ιδιότητες του μετάλλου είναι σημαντικές. [7]

1.3. Το αλουμίνιο ως υλικό και οι ιδιότητες του

Στις μέρες μας η χρήση του αλουμινίου θεωρείται δεδομένη από τους κατασκευαστές οχημάτων λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει όπως η χαμηλή πυκνότητα, η σχετικά καλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και η εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της παθητικοποίησης όπου με την έκθεση του αλουμινίου σε ατμοσφαιρικές συνθήκες σχηματίζεται στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα οξειδίου πάχους μερικών ατόμων το οποίο είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η

περαιτέρω διάβρωση του. Αυτό από μόνο του αποτελεί στοιχείο πολύ θετικό αν αναλογιστεί κανείς το κέρδος που υπάρχει ως προς τον χρόνο αλλά και το κόστος επεξεργασίας αυτού αφού ουσιαστικά δεν απαιτείται κάποια ειδική επικάλυψη για την αποφυγή της διάβρωσης του. Με μια ειδική επεξεργασία, την ανοδίωση, η οποία δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια διαδικασία ηλεκτρολυτικής οξείδωσης, η επιφάνεια του αλουμινίου που προστατεύεται από το στρώμα οξειδίου μπορεί να ενισχυθεί ακόμα περισσότερο και να γίνει πιο ανθεκτική στη διάβρωση. Κατά την ανοδίωση, το αλουμίνιο αποτελεί την άνοδο ενός ηλεκτρολυτικού συστήματος όπου στην άνοδο εκλύεται κατά την ηλεκτρόλυση οξυγόνο που αντιδρά με το αλουμίνιο και αυξάνεται το πάχος του προστατευτικού στρώματος οξειδίου. Το ανοδικό επίστρωμα του οξειδίου είναι πορώδες και εμβάπτιση του ανοδιωμένου υλικού σε νερό που βράζει σφραγίζει τη πορώδη αυτή δομή και επιτυγχάνεται σκληρή και λεία επιφάνεια. Επίσης το χρώμα του, το οποίο είναι θαμπό ασημί, οφείλεται στο προαναφερθέν στρώμα οξειδίου. [10]

Το καθαρό αλουμίνιο είναι αρκετά μαλακό και όλκιμο σε τέτοιο βαθμό ώστε η δημιουργία κραμάτων αυτού να θεωρείται δεδομένη ενώ κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα. Η υψηλή όλκιμότητα του και το χαμηλό σημείο τήξης του έχουν σαν αποτέλεσμα την εύκολη διαμόρφωση του αλουμινίου με διάφορους τρόπους όταν βρίσκεται σε τετηγμένη κατάσταση ενώ η διαμόρφωση του παραμένει εύκολη ακόμα και σε στερεά κατάσταση μέσω εξώθησης ενώ μπορεί να πάρει και την επιθυμητή μορφή του μέσω της διαδικασίας της χύτευσης. Το μέτρο ελαστικότητας του ($E_{\alpha\lambda}=70000\text{N/mm}^2$) είναι περίπου το ένα τρίτο του χάλυβα ($E_{\chi\alpha\lambda}=210000\text{N/mm}^2$), κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι το αλουμίνιο παραμορφώνεται ελαστικά τρεις φορές περισσότερο από τον χάλυβα, κάτω από αντίστοιχη φόρτιση ενώ η πυκνότητα του ισούται με $2,7\text{ gr/m}^3$. Επίσης το όριο αντοχής εφελκυσμού του καθαρού αλουμινίου ορίζεται στα 90 N/mm^2 αλλά με τη χρήση κραμάτων αυτό το όριο μπορεί να αγγίξει ή και να ξεπεράσει την τιμή των 700 N/mm^2 . [11]

Ως σημείο τήξης του καθαρού αλουμινίου ορίζεται η θερμοκρασία των 660 C° και θερμοκρασία βρασμού 2480 C° ενώ δεν θεωρείται μαγνητικό υλικό. Επίσης το αλουμίνιο και τα κράματα του κρατούν την όλκιμότητα τους και δεν γίνονται ψαθυρά ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κάτι που δεν συμβαίνει με τον χάλυβα. Επιπλέον ως θετικό στοιχείο του θεωρείται η σχετικά καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η θερμική αγωγιμότητα του, η οποία είναι περίπου 3 φορές υψηλότερη από αυτή του χάλυβα, ισούται με $237\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ισούται με $28,2\text{ n}\Omega\cdot\text{m}$ στους 20 C° . Το αλουμίνιο έχει επίσης υψηλή αντανakλαστικότητα του φωτός όσο και της ακτινοβολούμενης θερμότητας, στοιχείο όχι πολύ σημαντικό για την χρήση του στη βιομηχανία των οχημάτων. [12]

2. Το αλουμίνιο και τα κράματά του

2.1. Είδη κραμάτων και οι ιδιότητες τους

Το καθαρό αλουμίνιο στη απλούστερη μορφή του διαθέτει ιδιότητες όχι και πολύ ικανοποιητικές για την αξιόπιστη χρήση του στη βιομηχανία των οχημάτων με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η βελτίωση των ιδιοτήτων του με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς τους τρόπους είναι η δημιουργία κραμάτων αυτού όπου με την χρήση άλλων μετάλλων βελτιώνονται κατά πολύ οι ιδιότητες του χωρίς παράλληλα να υπάρχει ανάλογη αύξηση στη μάζα του εκάστοτε κομματιού.

Τα κράματα του αλουμινίου είναι ελαφρά με πυκνότητα που κυμαίνεται μεταξύ 2,6 και 3,1 g/cm³. Τα κύρια στοιχεία που προστίθενται στο καθαρό αλουμίνιο για τη παραγωγή κραμάτων είναι ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το πυρίτιο (Si), το μαγγάνιο (Mn), το νικέλιο (Ni), το μαγνήσιο (Mg) και σπανιότερα ο σίδηρος (Fe). Η προσθήκη αυτών των στοιχείων έχει ως σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του καθαρού αλουμινίου ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι σε σύγκριση με το καθαρό αλουμίνιο, η ανθεκτικότητα των κραμάτων στη διάβρωση λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας είναι μειωμένη. Τα κράματα του αλουμινίου χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τα κράματα που παίρνουν την επιθυμητή μορφή τους μέσω μηχανικών διαμορφώσεων όπως κυρίως εξώθηση, έλαση και διέλαση και ονομάζονται ως σφυρήλατα και αυτά που παίρνουν την επιθυμητή μορφή τους μέσω χύτευσης και ονομάζονται χυτά. Όσον αφορά τα ευρωπαϊκά πρότυπα, τα πρώτα ακολουθούν το πρότυπο EN 573 και συμβολίζονται με 4 ψηφία ενώ τα δεύτερα ακολουθούν το πρότυπο EN 1780 και συμβολίζονται με 5 ψηφία. Να σημειωθεί εδώ ότι στη Βόρεια Αμερική ακολουθείται το αντίστοιχο πρότυπο AA κατά το οποίο το κάθε κράμα συμβολίζεται με 4 ψηφία και έχει την ακόλουθη μορφή XXX . X. Τα κράματα του αλουμινίου που διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων χωρίζονται σε 8 επιμέρους κατηγορίες ενώ το ίδιο συμβαίνει και με αυτά που διαμορφώνονται μέσω χύτευσης όπου η καθεμία διαθέτει διαφορετικές ιδιότητες, προορίζεται για διαφορετική χρήση και είναι δυνατόν να έχει υποστεί θερμική επεξεργασία. [13]

2.1.1 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων

Η ταξινόμηση των κραμάτων σε αυτά που δέχονται θερμική επεξεργασία και σε αυτά που δεν δέχονται αλλά αποκτούν τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες μέσω μηχανικών διαμορφώσεων

ταξινομούνται σε επιμέρους υποκατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιμέρους κατηγορίες που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες ακολουθούν το πρότυπο EN 515. [14]

F	Χωρίς καμία επεξεργασία
O	Έχει υποστεί ανόπτηση
T	Θερμική επεξεργασία
H	Εν ψυχρώ κατεργασία (μηχανική κατεργασία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Πίνακας 1 – Κατηγοριοποίηση κραμάτων ανάλογα με το είδος επεξεργασίας [14]

T1	Ψύχεται από υψηλή θερμοκρασία στην οποία διαμορφώθηκε
T2	Ψύχεται από υψηλή θερμοκρασία αλλά έχει διαμορφωθεί εν ψυχρώ
T3	Θερμική επεξεργασία διαλύματος αλλά έχει διαμορφωθεί εν ψυχρώ και έχει υποστεί γήρανση
T4	Θερμική επεξεργασία διαλύματος και γήρανση σε μια σταθερή κατάσταση
T5	Ψύξη από μια υψηλή θερμοκρασία στην οποία διαμορφώθηκε και έχει υποστεί τεχνητή γήρανση
T6	Θερμική επεξεργασία διαλύματος και τεχνητή γήρανση
T7	Θερμική επεξεργασία διαλύματος και γήρανση για μεγάλο χρονικό διάστημα
T8	Θερμική επεξεργασία διαλύματος με διαμόρφωση εν ψυχρώ και τεχνητή γήρανση
T9	Θερμική επεξεργασία διαλύματος με τεχνητή γήρανση και διαμόρφωση εν ψυχρώ
T10	Ψύξη από μια υψηλή θερμοκρασία στην οποία διαμορφώθηκε, διαμορφώνεται εν ψυχρώ και υπόκειται σε τεχνητή γήρανση

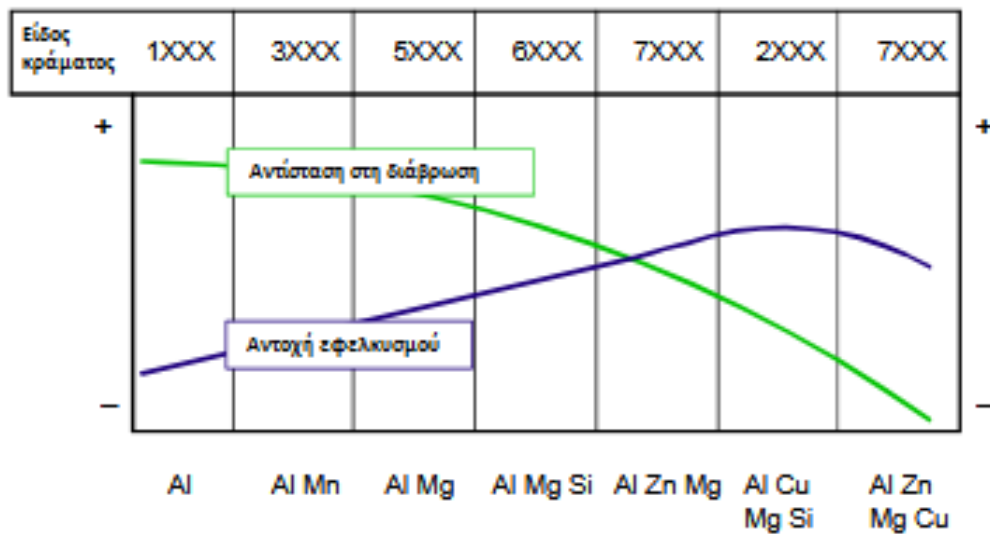
Πίνακας 2 – Είδη θερμικής επεξεργασίας κραμάτων [14]

H1X	Μόνο εργοσκλήρυνση
H2X	Εργοσκλήρυνση και μερική ανόπτηση
H3X	Εργοσκλήρυνση και θέρμανση σε χαμηλή θερμοκρασία
H4X	Εργοσκλήρυνση και θέρμανση σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία
HX2	Αναφέρεται σε προϊόντα των οποίων η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών ‘‘Ο’’ και ‘‘HX4’’
HX4	Αναφέρεται σε προϊόντα των οποίων η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών ‘‘Ο’’ και ‘‘HX8’’
HX6	Αναφέρεται σε προϊόντα των οποίων η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών ‘‘HX4’’ και ‘‘HX8’’
HX8	Αποτελεί τη κατηγορία με την υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό
HX11	Αναφέρεται σε προϊόντα που δέχονται την μηχανική τους επεξεργασία μετά την τελική ανόπτηση
H112	Αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία υφίστανται εργοσκλήρυνση μέσω διαμόρφωσης εν θερμό ή μικρού μεγέθους διαμόρφωση εν ψυχρώ.
H116	Εφαρμόζεται σε κράματα της σειράς 5XXX και έχουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση
H321	Υπόκειται σε εργοσκλήρυνση αλλά σε μικρότερο βαθμό από τη κατηγορία ‘‘H32’’
H323	Πρόκειται για μια έκδοση της σειράς H32, η οποία έχει παραχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να προβάλλει ικανοποιητική αντίσταση στη δημιουργία ρωγμών λόγω διάβρωσης κατά την επιβολή φορτίου
H343	Πρόκειται για μια έκδοση της σειράς H34, η οποία έχει παραχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να προβάλλει ικανοποιητική αντίσταση στη δημιουργία ρωγμών λόγω διάβρωσης κατά την επιβολή φορτίου

Πίνακας 3 – Είδη μηχανικών διαμορφώσεων κραμάτων [14]

Οι επιμέρους κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα κράματα του αλουμινίου που διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων είναι οι εξής: σειρά 1XXX, σειρά 2XXX, σειρά 3XXX, σειρά 4XXX, σειρά 5XXX, σειρά 6XXX, σειρά 7XXX και σειρά 8XXX. Το πρώτο ψηφίο καθορίζει τα κύρια στοιχεία του κράματος ή αλλιώς τη σειρά στην οποία βρίσκεται, το δεύτερο, αν είναι μεγαλύτερο του μηδενός, καθορίζει οποιεσδήποτε μετατροπές στη χημική σύσταση του κράματος όπου ο εκάστοτε αριθμός συμβολίζει τον αριθμό της

εκάστοτε μετατροπής ενώ τα δύο τελευταία ψηφία λειτουργούν ως ταυτότητα του συγκεκριμένου κράματος στη σειρά στην οποία βρίσκεται. [13]



Εικόνα 7 – Η αντοχή και η αντίσταση στη διάβρωση των επιμέρους κατηγοριών κραμάτων [15]

Η πρώτη υποκατηγορία συμβολίζεται με 1XXX, δεν περιέχει σε μεγάλες ποσότητες κάποιο άλλο μέταλλο και αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από καθαρό αλουμίνιο με περιεκτικότητα τουλάχιστον 99% κατά βάρος σε αλουμίνιο. Συνεπώς οι ιδιότητες του θεωρούνται παρόμοιες με αυτές του καθαρού αλουμινίου ενώ η περιεκτικότητα μπορεί να διαφοροποιείται από την ελάχιστη προαναφερθείσα ανάλογα με το είδος του κράματος και κυμαίνεται από 99 μέχρι και 100%. Παράλληλα στη σειρά 1XXX τα δύο τελευταία ψηφία ορίζουν τη περιεκτικότητα του κράματος. Για παράδειγμα, αν έχουμε το κράμα 1156, η περιεκτικότητα του κράματος σε καθαρό αλουμίνιο θα είναι 99,56% κατά βάρος. Επίσης, τα κράματα της σειράς 1 δεν μπορούν να υποστούν θερμική επεξεργασία για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους αλλά μπορούν να υποστούν εργοσκλήρυνση και πιο συγκεκριμένα σκλήρυνση με ενδοτράχυνση. Τέλος η αντοχή τους κυμαίνεται από 67 μέχρι και 190 N/mm². [16]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
1050 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99,5-100) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,05) Μαγνήσιο(0-0,05) Βανάδιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,05) Τιτάνιο(0-0,03)	2,7	76-140	68000	650
1060 – (O, H112, H113, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28)	Αλουμίνιο(99,6-100) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-0,35) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,03) Μαγνήσιο(0-0,03) Βανάδιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,05) Τιτάνιο(0-0,03)	2,7	67-130	68000	650
1070 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99,7-100) Πυρίτιο(0-0,2) Σίδηρος(0-0,25) Χαλκός(0-0,04) Μαγγάνιο(0-0,03) Μαγνήσιο(0-0,03) Βανάδιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,04) Τιτάνιο(0-0,03)	2,7	73-140	68000	640

1080 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99,8-100) Πυρίτιο(0-0,15) Σίδηρος(0-0,15) Χαλκός(0-0,03) Μαγγάνιο(0-0,02) Μαγνήσιο(0-0,02) Βανάδιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,03) Τιτάνιο(0-0,03) Γάλλιο(0-0,03)	2,7	72-130	68000	640
1085 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99,85- 100) Πυρίτιο(0-0,1) Σίδηρος(0-0,12) Χαλκός(0-0,03) Μαγγάνιο(0-0,02) Μαγνήσιο(0-0,02) Βανάδιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,03) Τιτάνιο(0-0,02) Γάλλιο(0-0,03)	2,7	73-140	68000	640
1100 – (O, H112, H113, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28)	Αλουμίνιο(99-99,95) Πυρίτιο(0-1) Σίδηρος(0-1) Χαλκός(0,05-0,2) Μαγγάνιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,1)	2,7	86-170	69000	640

1200 – (F, O, H111, H112, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99-100) Πυρίτιο(0-1) Σίδηρος(0-1) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,05)	2,7	85-180	69000	650
1230 – (O, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26)	Αλουμίνιο(99,3-100) Πυρίτιο(0-0,7) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,05) Μαγνήσιο(0-0,05)	2,7	89-170	69000	640
1350 – (F, O, H111, H112, H12, H14, H142, H16, H18, H19, H22, H24, H242, H26)	Αλουμίνιο(99,5-100) Πυρίτιο(0-0,1) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,01) Ψευδάργυρος(0-0,05) Βόριο(0-0,05) Τιτάνιο(0,02) Βανάδιο(0,02) Χρώμιο(0,01)	2,7	68-190	68000	650

Πίνακας 4 – Κράματα της σειράς 1XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η δεύτερη υποκατηγορία συμβολίζεται με 2XXX και το κύριο κραματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι ο χαλκός. Επιδέχονται θερμικής κατεργασίας για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους και γενικά έχουν υψηλή αντοχή και σκληρότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα κράματα αυτής της κατηγορίας είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε ρωγμές κατά τη στερεοποίηση μετά τη διαδικασία της χύτευσης αλλά και ασύμμετρα συστολή τα οποία φαινόμενα αντιμετωπίζονται αποκλειστικά και μόνο με χρήση τεχνικών μεγάλης σχετικά ακρίβειας στο χυτήριο ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα

χωρίς τα όποια μειονεκτήματα που μπορεί να παρουσιαστούν. Ο χαλκός γενικά χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα κράματα σε μικρές ποσότητες ενώ στη περίπτωση της σειράς 2 όπου θεωρείται ως κύριο κραματικό στοιχείο και συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες έχει μεγαλύτερη επίδραση στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. [16]

Η σειρά 2xxx μέσω της θερμικής κατεργασίας που υφίσταται 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 και για το λόγο αυτό βάφεται ή επενδύεται κατάλληλα για τη μερική ή και πλήρη αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του χαλκού ως κύριο κραματικό στοιχείο είναι η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, η ευκολία στη μηχανική διαμόρφωση και η αύξηση της αντοχής σε ερπυσμό ενώ ως κύρια μειονεκτήματα θεωρούνται η μείωση της αντίστασης σε διάβρωση, η μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και η δυσκολία στη συγκόλληση. Η αντοχή τους κυμαίνεται μεταξύ 180 και 540 N/mm², εύρος σχετικά μεγάλο, διότι εξαρτάται άμεσα από την περιεχόμενη ποσότητα κυρίως χαλκού αλλά και δευτερεύουσας σημασίας και περιεκτικότητας λοιπών κραμάτων. [16]

Ο χαλκός συγκεντρώνεται σε ποσοτώσεις από 2 μέχρι και 6% με δευτερεύοντα κραματικά στοιχεία, όπως το πυρίτιο και το μαγνήσιο, να εμφανίζονται σε όλα τα κράματα της σειράς 2XXX ενώ τα κράματα με περιεκτικότητα 4 έως 5,5% σε χαλκό ανταποκρίνονται πολύ καλύτερα κατά την θερμική επεξεργασία ενώ παρουσιάζουν σχετικά βελτιωμένες ιδιότητες χύτευσης. Γενικά η δημιουργία κραμάτων αλουμινίου με κύριο κραματικό στοιχείο τον χαλκό μειώνει την αντίσταση του υλικού στη δημιουργία ρωγμών κατά τη θέρμανση αυτού ενώ επίσης αυξάνει την δυνατότητα για ασύμμετρη συστολή του υλικού. [16]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^ο)
2007 – (T3, T351, T3510, T3511, T4, T4510, T4511)	Αλουμίνιο(87,5-95) Πυρίτιο(0-0,8) Σίδηρος(0-0,8) Χαλκός(3,3-4,6) Μαγγάνιο(0,5-1) Μαγνήσιο(0,4-1,8) Ψευδάργυρος(0-0,8) Τιτάνιο(0-0,2) Μόλυβδος(0,8-1,5) Νικέλιο(0-0,2) Κασσίτερος(0-0,2) Βισμούθιο(0-0,2) Χρώμιο(0-0,1)	3,1	370-420	71000	640
2011 – (T3, T4, T451, T4511, T6, T651, T8)	Αλουμίνιο(91,3-94,6) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(5-6) Ψευδάργυρος(0-0,3) Μόλυβδος(0,2-0,6) Βισμούθιο(0,2-0,6)	3,1	310-420	71000	640
2014 – (O, T3, T351, T3510, T3511, T4, T42, T451, T4510, T4511, T6, T62, T651, T6510, T6511, T652)	Αλουμίνιο(90,4-95) Πυρίτιο(0,5-1,2) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(3,9-5) Μαγγάνιο(0,4-1,2) Μαγνήσιο(0,2-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,25) Τιτάνιο(0-0,15) Χρώμιο(0-0,1) Ζιρκόνιο(0-0,2)	3	190-500	72000	630

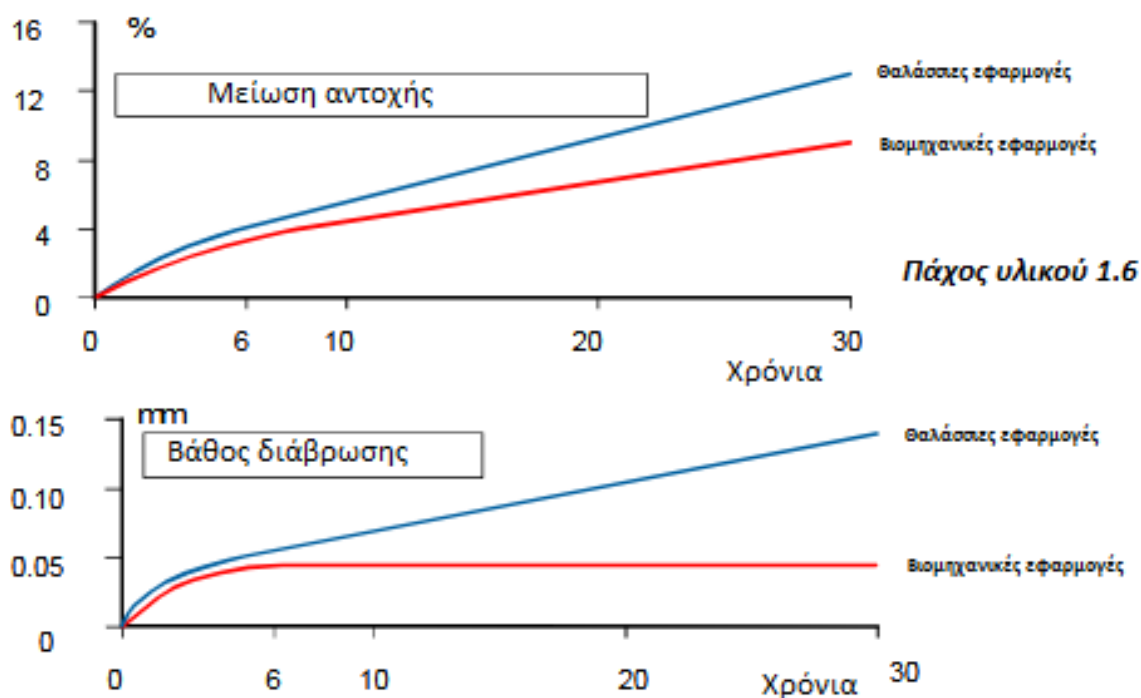
2017 – (O, T3, T351, T4, T42, T451)	Αλουμίνιο(91,6-95,5) Πυρίτιο(0,2-0,8) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(3,5-4,5) Μαγγάνιο(0,4-1) Μαγνήσιο(0,4-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,25) Τιτάνιο(0-0,15) Χρώμιο(0-0,1)	3	190-430	71000	640
2024 – (O, T3, T351, T3510, T3511, T4, T42, T451, T4510, T4511, T6, T62, T651, T6510, T6511, T652)	Αλουμίνιο(90,7-94,7) Πυρίτιο(0-0,5) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(3,8-4,9) Μαγγάνιο(0,3-0,9) Μαγνήσιο(1,2-1,8) Ψευδάργυρος(0-0,25) Τιτάνιο(0-0,15) Χρώμιο(0-0,1) Ζιρκόνιο(0-0,2)	3	200-540	71000	640
2030 – (T3, T351, T3510, T3511, T4, T4510, T4511)	Αλουμίνιο(88,9-95,2) Πυρίτιο(0-0,8) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(3,3-4,5) Μαγγάνιο(0,2-1) Μαγνήσιο(0,5-1,3) Ψευδάργυρος(0-0,5) Τιτάνιο(0-0,2) Μόλυβδος(0,8-1,5) Βισμούθιο(0-0,2) Χρώμιο(0-0,1)	3,1	370-420	70000	640

2219 – (O, T3, T31, T351, T37, T42, T6, T62, T8, T81, T851, T852, T87)	Αλουμίνιο(91,5-93,8) Πυρίτιο(0-0,2) Σίδηρος(0-0,3) Χαλκός(5,8-6,8) Μαγγάνιο(0,2-0,4) Μαγνήσιο(0-0,02) Ψευδάργυρος(0-0,1) Τιτάνιο(0,02-0,1) Ζιρκόνιο(0,1-0,25) Βανάδιο(0,05-0,15)	3,1	180-480	72000	640
---	---	-----	---------	-------	-----

Πίνακας 5 – Κράματα της σειράς 2XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η τρίτη υποκατηγορία συμβολίζεται με 3XXX και το κύριο κραματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι το μαγγάνιο. Η περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, αν και αποτελεί το κύριο κραματικό στοιχείο, σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνά το 1,5% αλλά η ποσόστωση αυτή είναι ικανή ώστε να προσφέρει καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες στο υλικό και ικανοποιητική αντοχή. Τα κράματα της σειράς 3 δεν επιδέχονται θερμικής επεξεργασίας παρά μόνο μηχανική και συγκεκριμένα με ενδοτράχυνση παρουσιάζοντας παράλληλα μεγάλη ευκολία στη διαμόρφωση τους, το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα. Επίσης σημαντικό προτέρημα τους αποτελεί η πολύ καλή συγκολλησιμότητα ενώ έχουν και μεγάλη επιδεκτικότητα σε επιχάλκωση η οποία προστατεύει το υλικό σε υψηλές θερμοκρασίες. [16]

Η αντοχή τους κυμαίνεται από 100 μέχρι και 310 N/mm² ενώ έχουν καλή πλαστικότητα αλλά ως μειονέκτημα κατατάσσεται η περιορισμένη στερεά διαλυτότητα του μαγγανίου στο αλουμίνιο. Επίσης, ως δευτερεύοντα στοιχεία προστίθενται ο σίδηρος, ο οποίος συγκεντρώνεται σε σχετικά μεγάλες ποσοστώσεις, μαγνήσιο αλλά και σημαντικές ποσότητες πυριτίου σε όλα ανεξαιρέτως τα κράματα της σειράς 3. Το μαγγάνιο από μόνο του αυξάνει την αντοχή του υλικού σχεδόν κατά 20% σε σύγκριση με το καθαρό αλουμίνιο ή αλλιώς τα κράματα της σειράς 1XXX. [16]



Εικόνα 8 – Αλλαγή στην αντοχή και στο πάχος τεμαχίου από κράμα αλουμινίου 3103 με την πάροδο του χρόνου

[15]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
3003 – (O, H112, H113, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28)	Αλουμίνιο(96,8-99) Πυρίτιο(0-0,6) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0,05-0,2) Μαγγάνιο(1-1,5) Ψευδάργυρος(0-0,1)	2,8	110-240	70000	650

3004 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(95,6-98,2) Πυρίτιο(0-0,3) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,25) Μαγγάνιο(1-1,5) Μαγνήσιο(0,8-1,3) Ψευδάργυρος(0-0,25)	2,8	170-310	70000	650
3005 – (O, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H25, H26, H27, H28, H29)	Αλουμίνιο(95,7-98,8) Πυρίτιο(0-0,6) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,3) Μαγγάνιο(1-1,5) Μαγνήσιο(0,2-0,6) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,1)	2,8	140-270	70000	660
3103 – (F, O, H11, H12, H13, H14, H15, H16, H17, H18, H19, H22, H24, H26, H28)	Αλουμίνιο(96,3-99,1) Πυρίτιο(0-0,5) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,9-1,5) Μαγνήσιο(0-0,3) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,1) Ζιρκόνιο(0-0,1)	2,8	100-220	70000	660

3104 – (O, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28, H29, H32, H34, H36, H38, H39)	Αλουμίνιο(95,1-98,4) Πυρίτιο(0-0,6) Σίδηρος(0-0,8) Χαλκός(0,05-0,25) Μαγγάνιο(0,8-1,4) Μαγνήσιο(0,8-1,3) Ψευδάργυρος(0-0,25) Βανάδιο(0-0,05) Τιτάνιο(0-0,1) Γάλλιο(0-0,05)	2,8	170-310	70000	650
3105 – (O, H111, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H25, H26, H28)	Αλουμίνιο(96-99,5) Πυρίτιο(0-0,6) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,3) Μαγγάνιο(0,3-0,8) Μαγνήσιο(0,2-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,4) Χρώμιο(0-0,2) Τιτάνιο(0-0,1)	2,8	120-240	69000	660
3203 – (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H25, H26)	Αλουμίνιο(96,9-99) Πυρίτιο(0-0,6) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(1-1,5) Ψευδάργυρος(0-0,1)	2,8	110-200	70000	650

Πίνακας 6 – Κράματα της σειράς 3XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η τέταρτη υποκατηγορία συμβολίζεται με 4XXX και το κύριο κραματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι το πυρίτιο. Η χρήση του πυριτίου ως κύριο κραματικό στοιχείο μετουσιώνεται σε μείωση σε σχέση με το καθαρό αλουμίνιο του σημείου τήξης και παράλληλα αύξηση της ρευστότητας του υλικού σε υγρή κατάσταση σε υψηλές θερμοκρασίες το οποίο προσδίδει καλές ιδιότητες χύτευσης ενώ έχει μικρή επίδραση στην αντοχή του υλικού. Επίσης τα κράματα αυτής της σειράς έχουν πολύ καλή ολκιμότητα, δεν υφίστανται θερμική κατεργασία αλλά υπόκεινται σε μηχανική διαμόρφωση για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Η αντοχή σε εφελκυσμό βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και κυμαίνεται από 110 μέχρι και 220 N/mm² ενώ η πυκνότητα τους παρά τη προσθήκη και άλλων κραματικών στοιχείων σε μικρότερες ποσοτώσεις συγκριτικά με το πυρίτιο παραμένει αμετάβλητη και ουσιαστικά ίδια με αυτή του καθαρού αλουμινίου. Έχουν πολύ καλή αντοχή στη διάβρωση αλλά δεν είναι αρκετά δεκτικά στη μηχανική διαμόρφωση λόγω της μικρής πλαστιμότητας αλλά και της υψηλής σκληρότητας του υλικού που επιτυγχάνεται με τη προσθήκη του πυριτίου. [16]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
4006 – (O, H12, H14)	Αλουμίνιο(97,4-98,7) Πυρίτιο(0,8-1,2) Σίδηρος(0,5-0,8) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(0-0,05) Χρώμιο(0-0,2) Μαγνήσιο(0-0,01)	2,7	110-160	69000	620

4007 – (O, H111, H12)	Αλουμίνιο(94,1-97,6) Πυρίτιο(1-1,7) Σίδηρος(0,4-1) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0,8-1,5) Ψευδάργυρος(0-0,1) Χρώμιο(0,05-0,25) Μαγνήσιο(0-0,2) Νικέλιο(0,15-0,7) Τιτάνιο(0-0,1) Κοβάλτιο(0-0,05)	2,8	130-160	71000	590
4015 – (O, H111, H12, H14, H16, H18)	Αλουμίνιο(94,9-97,9) Πυρίτιο(1,4-2,2) Σίδηρος(0 -0,7) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0,6-1,2) Ψευδάργυρος(0-0,2) Μαγνήσιο(0,1-0,5)	2,7	130-220	70000	600
4115 – (O, H12, H14, H16, H18, H26)	Αλουμίνιο(94,6-97,4) Πυρίτιο(1,8-2,2) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0,1-0,5) Μαγγάνιο(0,6-1,2) Ψευδάργυρος(0-0,2) Μαγνήσιο(0,1-0,5)	2,7	120-220	70000	590

Πίνακας 7 – Κράματα της σειράς 4XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η πέμπτη υποκατηγορία συμβολίζεται με 5XXX και το κύριο κραματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι το μαγνήσιο. Τα κράματα αυτής της σειράς δεν υφίστανται θερμική κατεργασία αλλά δέχονται μηχανική διαμόρφωση με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους ενώ παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Σημαντικό χαρακτηριστικό της σειράς αυτής είναι η σχετικά καλή συγκολλησιμότητα όλων των επιμέρους κραμάτων ενώ θεωρούνται σε μέτριο έως υψηλό βαθμό άκαμπτα έχοντας παράλληλα μέτρια έως υψηλή αντοχή

εφελκυσμού. Μειονέκτημα των επιμέρους κραμάτων, με περιεκτικότητα σε μαγνήσιο μεγαλύτερη του 3%, είναι ότι η συνεχής έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, και συγκεκριμένα υψηλότερες από 100 C°, μειώνει δραστικά την αντοχή τους σε διάβρωση κατά την επιβολή φορτίου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρωγμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κράματα της σειράς 5XXX παρουσιάζουν την υψηλότερη αντοχή από όλα τα κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία και συγκεκριμένα 1XXX, 3XXX, 4XXX και 5XXX. [16]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C°)
5005– (F, O, H112, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(97-99,5) Πυρίτιο(0-0,3) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0-0,2) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0-0,1) Μαγνήσιο(0,5-1,1)	2,7	110-230	68000	630
5010– (F, O, H111, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28)	Αλουμίνιο(97,1-99,7) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,25) Μαγγάνιο(0,1-0,3) Ψευδάργυρος(0-0,3) Χρώμιο(0-0,15) Μαγνήσιο(0,2-0,6) Τιτάνιο(0-0,1)	2,7	100-210	69000	630

5019– (F, O, H111, H112, H12, H14, H16, H22, H24, H26, H32, H34, H36)	Αλουμίνιο(91,5-95,3) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,1-0,6) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0-0,2) Μαγνήσιο(4,5-5,6) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	280-360	68000	540
5049– (O, H11, H111, H112, H12, H13, H14, H15, H16, H17, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(94,7-97,9) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,5-1,1) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0-0,3) Μαγνήσιο(1,6-2,5) Τιτάνιο(0-0,1)	2,7	210-330	69000	620
5050– (O, H111, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(96,3-98,9) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0-0,1) Μαγνήσιο(1,1-1,8)	2,7	140-250	68000	630

5052– (F, O, H111, H112, H12, H14, H16, H18, H19, H22, H24, H26, H28, H32, H322, H34, H36, H38, H39)	Αλουμίνιο(95,8-97,7) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(0-0,1) Χρώμιο(0,15-0,35) Μαγνήσιο(2,2-2,8)	2,7	190-320	68000	610
5083– (F, O, H111, H112, H12, H14, H16, H22, H24, H26, H32, H321, H34, H36)	Αλουμίνιο(92,4-95,6) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,4-1) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0,05-0,25) Μαγνήσιο(4-4,9) Τιτάνιο(0-0,15)	2,7	290-390	68000	580
5086– (F,O, H111, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H321, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(93-96,3) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,2-0,7) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0,05-0,25) Μαγνήσιο(3,5-4,5) Τιτάνιο(0-0,15)	2,7	270-390	68000	590

5154– (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(94,4-96,8) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0,15-0,35) Μαγνήσιο(3,1-3,9) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	240-360	68000	590
5251– (F, O, H111, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(95,5-98,2) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,15) Μαγγάνιο(0,1-0,5) Ψευδάργυρος(0-0,15) Χρώμιο(0-0,15) Μαγνήσιο(1,7-2,4) Τιτάνιο(0-0,15)	2,7	180-280	68000	610
5254– (O, H112, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(94,4-96,8) Πυρίτιο(0-0,45) Σίδηρος(0-0,45) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,01) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0,15-0,35) Μαγνήσιο(3,1-3,9) Τιτάνιο(0-0,05)	2,7	240-350	68000	590

5454– (F, O, H111, H112, H12, H14, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(94,5-97,1) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,5-1) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0,05-0,2) Μαγνήσιο(2,4-3) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	230-350	69000	600
5754– (F, O, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38)	Αλουμίνιο(94,2-97,4) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,5) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0-0,3) Μαγνήσιο(2,6-3,6) Τιτάνιο(0-0,15)	2,7	200-330	68000	600

Πίνακας 8 – Κράματα της σειράς 5XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η έκτη υποκατηγορία συμβολίζεται με 6XXX και τα κύρια κραματικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι το μαγνήσιο και το πυρίτιο. Ως κατηγορία κραμάτων επεξεργάζεται θερμικά, όπου η προσθήκη μαγνησίου και πυριτίου δημιουργεί μια ιδανική κατά κάποιο τρόπο ένωση η οποία επιτρέπει την αξιοποίηση των ιδιοτήτων του υλικού επιτρέποντας την σημαντική αύξηση της αντοχής αλλά και γενικά την βελτίωση των ιδιοτήτων του κατά την θερμική επεξεργασία του υλικού. Επιπλέον, τα κράματα της σειράς 6XXX έχουν εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και υψηλή ολκιμότητα ενώ η αντοχή τους σε εφελκυσμό κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα και διαμορφώνονται μέσω διέλασης με σχετική ευκολία.[18]

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα επιμέρους κράματα της συγκεκριμένης σειράς είναι αρκετά ευαίσθητα στην δημιουργία ρωγμών κατά την στερεοποίηση μετά από για οποιοδήποτε λόγο

αύξηση της θερμοκρασίας όπως για παράδειγμα κατά την ηλεκτροσυγκόλληση. Για το λόγο αυτό δεν συνίσταται η συγκόλληση τους με την χρήση αυτογενούς συγκόλλησης τύπου TIG ενώ επιβάλλεται η χρήση επαρκούς υλικού πλήρωσης η τήξη του οποίου κατά την συγκόλληση προκαλεί την αραίωση του βασικού μετάλλου αποτρέποντας έτσι το φαινόμενο της δημιουργίας ρωγμών κατά την στερεοποίηση του υλικού.[16]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
6061– (O, T1, T4, T42, T451, T4510, T4511, T51, T6, T62, T651, T6510, T6511, T652, T89, T94)	Αλουμίνιο(95,9-98,6) Πυρίτιο(0,4-0,8) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0,15-0,4) Μαγγάνιο(0-0,15) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0,04-0,35) Μαγνήσιο(0,8-1,2) Τιτάνιο(0-0,15)	2,7	130-410	69000	650
6063– (O, T1, T4, T42, T5, T52, T6, T62, T66, T8, T83, T831, T832)	Αλουμίνιο(97,5-99,4) Πυρίτιο(0,2-0,6) Σίδηρος(0-0,35) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(0-0,1) Χρώμιο(0-0,1) Μαγνήσιο(0,45-0,9) Τιτάνιο(0-0,1)	2,7	110-300	68000	620

6066– (O, T4, T42, T451, T4510, T4511, T6, T62, T651, T6510, T6511)	Αλουμίνιο(93-97) Πυρίτιο(0,9-1,8) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0,7-1,2) Μαγγάνιο(0,6-1,1) Ψευδάργυρος(0-0,25) Χρώμιο(0-0,4) Μαγνήσιο(0,8-1,4) Τιτάνιο(0-0,2)	2,8	160-400	70000	560
6082– (O, T4, T42, T451, T5, T6, T61, T6151, T62, T651, T6511)	Αλουμίνιο(95,2-98,3) Πυρίτιο(0,7-1,3) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,4-1) Ψευδάργυρος(0-0,2) Χρώμιο(0-0,25) Μαγνήσιο(0,6-1,2) Τιτάνιο(0-0,1)	2,7	140-340	69000	580
6351– (O, T1, T11, T4, T5, T51, T54, T6)	Αλουμίνιο(96-98,5) Πυρίτιο(0,7-1,3) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0,4-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,2) Μαγνήσιο(0,4-0,8) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	140-310	69000	570

Πίνακας 9 – Κράματα της σειράς 6XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

Η έβδομη υποκατηγορία συμβολίζεται με 7XXX και το κύριο κραματικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι ο ψευδάργυρος ενώ σε πολλά κράματα της συγκεκριμένης σειράς εντοπίζουμε σημαντικές ποσοτώσεις μαγνησίου και χαλκού. Θεωρούνται τα κράματα με την υψηλότερη αντοχή αν αναλογιστεί κανείς ότι αγγίζουν ή και ξεπερνούν πολλές φορές την αντοχή

χαλύβων υψηλής αντοχής. Υφίστανται θερμική κατεργασία για την βελτίωση των ιδιοτήτων τους ενώ δεν έχουν καλή συγκολλησιμότητα και η αντίσταση τους στη διάβρωση είναι καλή αν και κατώτερη σε σύγκριση με αντίστοιχα κράματα της σειράς 5XXX και 6XXX το οποίο αντιμετωπίζεται με την επαλουμινοποίηση τους εξαλείφοντας έτσι ουσιαστικά το φαινόμενο της διάβρωσης. [16] Μειονέκτημα τους αποτελεί η σημαντική δυσκολία στην παραγωγή τους λόγω της ανάγκης ύπαρξης υψηλής τεχνολογίας ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ως προς τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. [15]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^ο)
7010– (T6, T62, T651, T652, T73, T7351, T74, T7451, T76, T7651)	Αλουμίνιο(87,9-90,6) Πυρίτιο(0-0,12) Σίδηρος(0-0,15) Χαλκός(1,5-2) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(5,7-6,7) Χρώμιο(0-0,05) Μαγνήσιο(2,1-2,6) Τιτάνιο(0-0,06) Ζιρκόνιο(0,1-0,16) Νικέλιο(0-0,05)	3	520-590	70000	480
7020– (O, T4, T451, T6, T62, T651)	Αλουμίνιο(91,2-94,8) Πυρίτιο(0-0,35) Σίδηρος(0-0,4) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0,05-0,5) Ψευδάργυρος(4-5) Χρώμιο(0,1-0,35) Μαγνήσιο(1-1,4) Τιτάνιο(0-0,25) Ζιρκόνιο(0,08-0,25)	2,9	190-390	70000	610

7075– (O, T6, T62, T651, T6510, T6511, T652, T7, T73, T7351, T73510, T73511, T7352, T76, T7651, T76510, T76511)	Αλουμίνιο(86,9-91,4) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(1,2-2) Μαγγάνιο(0-0,3) Ψευδάργυρος(5,1-6,1) Χρώμιο(0,18-0,28) Μαγνήσιο(2,1-2,9) Τιτάνιο(0-0,2) Ζιρκόνιο(0-0,25)	3	240-590	70000	480
7178– (O, T6, T62, T651, T6510, T6511, T76, T7651, T76510, T76511)	Αλουμίνιο(85,4-89,5) Πυρίτιο(0-0,4) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(1,6-2,4) Μαγγάνιο(0-0,3) Ψευδάργυρος(6,3-7,3) Χρώμιο(0,18-0,28) Μαγνήσιο(2,4-3,1) Τιτάνιο(0-0,2)	3,1	240-640	71000	480
7475– (T6, T61, T651, T7351, T76, T7651)	Αλουμίνιο(88,6-91,6) Πυρίτιο(0-0,1) Σίδηρος(0-0,12) Χαλκός(1,2-1,9) Μαγγάνιο(0-0,06) Ψευδάργυρος(5,1-6,2) Χρώμιο(0,18-0,25) Μαγνήσιο(1,9-2,6) Τιτάνιο(0-0,06)	3	530-590	70000	480

Πίνακας 10 – Κράματα της σειράς 7XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων [17]

2.1.2 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης

Τα κράματα που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από αυτά που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων. Η βασική διαφορά έγκειται στο ότι παίρνουν τη γεωμετρική μορφή τους μέσω της χύτευσης τους σε καλούπια, στη πλειονότητα των περιπτώσεων κατασκευασμένα από άμμο, ενώ έχουν σχετικά μικρότερη αντοχή σε σύγκριση με αυτά που παράγονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων. Το τελευταίο οφείλεται κυρίως στην έλλειψη επαρκούς τεχνογνωσίας όπου οι υπάρχουσες τεχνικές χύτευσης δεν μπορούν να προλάβουν τα σφάλματα χύτευσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλές φορές εσωτερικές ρωγμές οι οποίες μετά τη μηχανική φόρτιση του υλικού μετουσιώνονται σε θραύση αυτού. [18]

Γενικά υπάρχουν δύο πρότυπα για την παραγωγή χυτών κραμάτων, αυτό που εφαρμόζεται στη Βόρεια Αμερική και αυτό που εφαρμόζεται στην Ευρώπη, όπου το πρότυπο που εφαρμόζεται στην Ευρώπη ονομάζεται EN 1780 και αυτό που εφαρμόζεται στη Βόρεια Αμερική ονομάζεται ANSI/AA. [14]

Σε αντίθεση με τα κράματα που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων, τα χυτά κράματα επιδέχονται αποκλειστικά και μόνο θερμική επεξεργασία (Πίνακας 2) ενώ έχουν σημαντικά μικρότερο αριθμό ειδών θερμικής κατεργασίας που μπορούν να υποστούν για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Τα κράματα της σειράς 1XX00 δε διαφέρουν κατά πολύ σε σχέση με τα κράματα της σειράς 1XXX που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων αφού η προσθήκη κραματικών στοιχείων είναι αμελητέας σημασίας. Στην ουσία πρόκειται για τα ίδια ακριβώς κράματα και με τις ίδιες ακριβώς ιδιότητες ενώ η διαδικασία παραγωγής δε διαφέρει σε τίποτα.

Τα κράματα της σειράς 2XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο τον χαλκό. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος αλλά και σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ μερικά κράματα της συγκεκριμένης σειράς έχουν υψηλή αντοχή σε κάμψη.[16] Έχουν υψηλή σκληρότητα επιφάνειας η οποία διατηρείται σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ σε μερικά κράματα της σειράς προστίθεται μικρή ποσότητα αργύρου η οποία επιτείνει την αντοχή στην διάβρωση λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Επίσης έχουν καλή πλαστιμότητα και εξαιρετικές ιδιότητες εφελκυσμού αλλά είναι ευαίσθητα σε ρωγμές κατά τη στερεοποίηση οι οποίες αποφεύγονται μέσω προηγμένων τεχνικών κατά τη διαδικασία της χύτευσης.[19]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
21000 – T4	Αλουμίνιο(93,4-95,5) Πυρίτιο(0-0,2) Σίδηρος(0-0,35) Χαλκός(4,2-5) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(0,15-0,35) Τιτάνιο(0,15-0,3) Κασσίτερος(0-0,05) Νικέλιο(0-0,05) Μόλυβδος(0-0,05)	3	340	71000	550
21100 – (T6, T64)	Αλουμίνιο(93,4-95,7) Πυρίτιο(0-0,18) Σίδηρος(0-0,19) Χαλκός(4,2-5,2) Μαγγάνιο(0-0,55) Ψευδάργυρος(0-0,07) Τιτάνιο(0,15-0,3)	3	340-350	71000	550
21200 – (T4, T7)	Αλουμίνιο(93,3-95,7) Πυρίτιο(0-0,1) Σίδηρος(0-0,2) Χαλκός(4-5) Μαγγάνιο(0,2-0,5) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(0,15-0,5) Τιτάνιο(0-0,1) Κασσίτερος(0-0,03) Νικέλιο(0-0,05) Μόλυβδος(0-0,03)	3	410-440	71000	550

Πίνακας 11 – Κράματα της σειράς 2XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

Τα κράματα της σειράς 3XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο το πυρίτιο. Έχουν εξαιρετική χυτευσιμότητα ενώ παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και μερικά κράματα της συγκεκριμένης σειράς έχουν επιπρόσθετα υψηλή αντοχή σε κάμψη τα οποία οφείλονται αμφότερα στην θερμική κατεργασία στην οποία υπόκεινται σκοπός της οποίας είναι φυσικά η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Η προσθήκη σημαντικής ποσότητας πυριτίου έχει ως αποτέλεσμα την πρόσδοση ελαστικότητας ενώ η καλή χυτευσιμότητα οφείλεται επίσης σε αυτό το γεγονός. Δευτερεύοντα κραματικά στοιχεία που προστίθενται είναι ο χαλκός ή το μαγνήσιο.[16] Τα κράματα της συγκεκριμένης σειράς περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό πυρίτιο που ξεκινά από 5% και η ποσόστωση μπορεί να φτάσει σε μερικά κράματα το εντυπωσιακό 30% ενώ έχουν εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών.[19]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^ο)
31900 – (F, T5, T6)	Αλουμίνιο(85,8-91,5) Πυρίτιο(5,5-6,5) Σίδηρος(0-1) Χαλκός(3-4) Μαγγάνιο(0-0,5) Ψευδάργυρος(0-1) Μαγνήσιο(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,25) Νικέλιο(0-0,35)	2,9	190-240	72000	540
32400 – (F, T5, T62)	Αλουμίνιο(87,3-92,2) Πυρίτιο(7-8) Σίδηρος(0-1,2) Χαλκός(0,4-0,6) Μαγγάνιο(0-0,5) Ψευδάργυρος(0-1) Μαγνήσιο(0,4-0,7) Τιτάνιο(0-0,2) Νικέλιο(0-0,3)	2,7	210-310	71000	550

33300 – (F, T5, T6, T7)	Αλουμίνιο(81,8-89) Πυρίτιο(8-10) Σίδηρος(0-1) Χαλκός(3-4) Μαγγάνιο(0-0,5) Ψευδάργυρος(0-1) Μαγνήσιο(0,05-0,5) Τιτάνιο(0-0,25) Νικέλιο(0-0,5)	2,8	230-280	73000	530
35500 – (T51, T6, T71)	Αλουμίνιο(90,3-94,1) Πυρίτιο(4,5-5,5) Σίδηρος(0-0,6) Χαλκός(1-1,5) Μαγγάνιο(0-0,5) Ψευδάργυρος(0-0,35) Μαγνήσιο(0,4-0,6) Τιτάνιο(0-0,25) Χρώμιο(0-0,25)	2,7	200-260	71000	560
35600 – (F, T5, T51, T6, T7, T71)	Αλουμίνιο(90,1-93,3) Πυρίτιο(6,5-7,5) Σίδηρος(0-0,6) Χαλκός(0-0,25) Μαγγάνιο(0-0,35) Ψευδάργυρος(0-0,35) Μαγνήσιο(0,2-0,45) Τιτάνιο(0-0,25)	2,6	160-240	70000	570

Πίνακας 12 – Κράματα της σειράς 3XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

Τα κράματα της σειράς 4XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο το πυρίτιο. Αποτελούν κράματα με εξαιρετική χυτευσιμότητα ενώ έχουν υψηλή αντοχή έναντι της διάβρωσης. Επίσης παρέχουν καλή δυνατότητα συγκόλλησης ενώ έχουν καλή πλαστιμότητα και αξιόλογη αντοχή σε κόπωση.[16] Η καλή πλαστιμότητα οφείλεται στη μικρή συγκέντρωση ακαθαρσιών στη δομή του υλικού ενώ πλεονέκτημα τους αποτελεί η σχετικά χαμηλή πυκνότητα και ο μικρός συντελεστής θερμικής διαστολής.[19]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
42000 – (F, T6, T64)	Αλουμίνιο(89,9-93,3) Πυρίτιο(6,5-7,5) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0-0,35) Ψευδάργυρος(0-0,15) Μαγνήσιο(0,2-0,65) Τιτάνιο(0-0,25) Νικέλιο(0-0,15) Μόλυβδος(0-0,15) Κασσίτερος(0-0,05)	2,6	170-270	70000	600
43000 – (F, T6, T64)	Αλουμίνιο(87-90,8) Πυρίτιο(9-11) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,45) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(0,2-0,45) Τιτάνιο(0-0,15) Νικέλιο(0-0,05) Μόλυβδος(0-0,05) Κασσίτερος(0-0,05)	2,6	180-270	71000	590

43100 – (F, T6, T64)	Αλουμίνιο(86,9-90,8) Πυρίτιο(9-11) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,45) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(0,2-0,45) Τιτάνιο(0-0,15) Νικέλιο(0-0,05) Μόλυβδος(0-0,05) Κασσίτερος(0-0,05)	2,6	180-270	71000	590
43500 – (F, T5, T7)	Αλουμίνιο(86,4-90,5) Πυρίτιο(9-11,5) Σίδηρος(0-0,25) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0,4-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,07) Μαγνήσιο(0,1-0,6) Τιτάνιο(0-0,2)	2,6	220-300	72000	590

Πίνακας 13 – Κράματα της σειράς 4XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

Τα κράματα της σειράς 5XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο το μαγνήσιο. Αποτελούν κράματα με μέτρια προς καλή αντοχή και σκληρότητα επιφάνειας ενώ έχουν και καλή συγκολλησιμότητα. Έχουν υψηλή αντοχή έναντι της διάβρωσης υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες ενώ έχουν αρκετά καλή συγκολλησιμότητα και διαμορφώνονται με σχετική ευκολία. Επίσης έχουν καλή εμφάνιση, η οποία επιτυγχάνεται με την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται η κατάλληλη τεχνική χύτευσης. Τέλος, κράματα που περιέχουν μαγνήσιο σε ποσοστό μεγαλύτερο του 7% υπόκεινται σε θερμική κατεργασία με σκοπό τη σταθεροποίηση των ιδιοτήτων του εκάστοτε κράματος οι οποίες θα άλλαζαν σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση με τη πάροδο του χρόνου.[18]

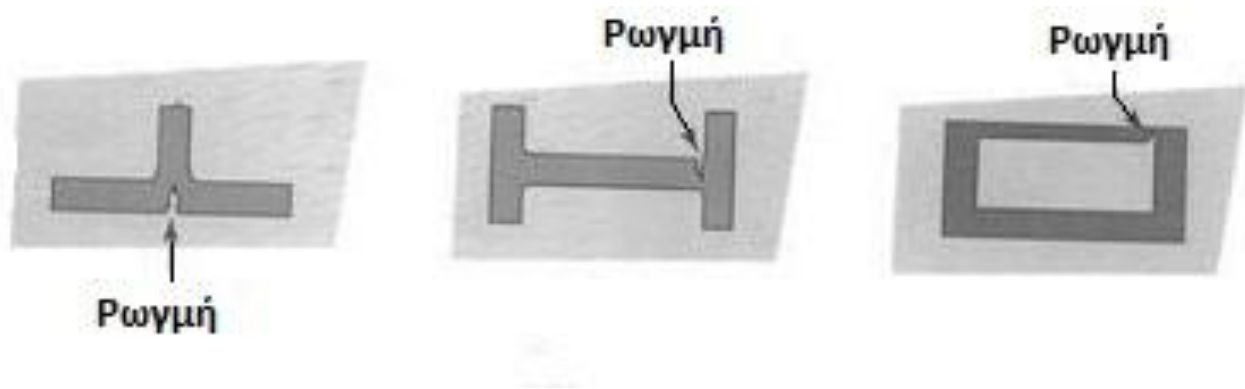
Χρόμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
51100 – F	Αλουμίνιο(94,5-97,5) Πυρίτιο(0-0,55) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,45) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(2,5-3,5) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	160	68000	620
51200 – F	Αλουμίνιο(84,5-92) Πυρίτιο(0-2,5) Σίδηρος(0-1) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,55) Ψευδάργυρος(0-0,25) Μαγνήσιο(8-10,5) Τιτάνιο(0-0,2) Νικέλιο(0-0,1) Μόλυβδος(0-0,1) Κασσίτερος(0-0,1)	2,6	220	67000	570
51300 – F	Αλουμίνιο(91,4-95,5) Πυρίτιο(0-0,55) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,45) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(4,5-6,5) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	190	67000	600

51400 – F	Αλουμίνιο(90,5-95,5) Πυρίτιο(0-1,5) Σίδηρος(0-0,55) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0-0,45) Ψευδάργυρος(0-0,1) Μαγνήσιο(4,5-6,5) Τιτάνιο(0-0,2)	2,7	190	67000	600
51500 – F	Αλουμίνιο(89,8-93,1) Πυρίτιο(1,8-2,6) Σίδηρος(0-0,25) Χαλκός(0-0,05) Μαγγάνιο(0,4-0,8) Ψευδάργυρος(0-0,07) Μαγνήσιο(4,7-6) Τιτάνιο(0-0,25)	2,6	280	68000	590

Πίνακας 14 – Κράματα της σειράς 5XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

Τα κράματα της σειράς 7XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο το ψευδάργυρο ενώ ως δευτερεύον κραματικό στοιχείο χρησιμοποιείται συνήθως το μαγνήσιο και συγκεντρώνεται πάντα σε μικρότερες ποσοστώσεις από τον ψευδάργυρο. Αποτελούν κράματα με μέτρια προς υψηλή αντοχή και επιδέχονται θερμική κατεργασία μόνο σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της κατάστασης του υλικού αλλά και των ιδιοτήτων αυτού ενώ συνήθως υπόκεινται σε φυσική γήρανση κάτω από θερμοκρασία δωματίου για χρονικό διάστημα 20 έως 30 ημερών ώστε να επιτευχθούν οι απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες. Πολλές φορές εφαρμόζεται τεχνητή γήρανση ώστε να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα με την επιδιωκόμενη σκληρότητα του υλικού αλλά και αντοχή σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Επίσης τα κράματα της συγκεκριμένης σειράς έχουν υψηλό σημείο τήξης ενώ παρουσιάζουν μεγάλη ευκολία στην διαμόρφωση της γεωμετρίας τους μέσω των διάφορων μεθόδων μηχανικών διαμορφώσεων και τέλος έχουν ικανοποιητική αντοχή έναντι της διάβρωσης. Μειονέκτημα τους αποτελεί η κακή ικανότητα χύτευσης με αποτέλεσμα να απαιτούνται σύγχρονες εγκαταστάσεις με ανάλογο εξοπλισμό και την κατάλληλη τεχνογνωσία ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ελαχιστοποιώντας τα φαινόμενα των *θερμών δακρύων* και της θερμικής συστολής κατά τη

στερεοποίηση.[18] Άξιο αναφοράς είναι το ότι το φαινόμενο των *θερμών δακρύων* αναφέρεται σε ρωγμές οι οποίες δημιουργούνται κατά την στερεοποίηση του χυτού και συνήθως σε περιοχές όπου αλλάζει η γεωμετρία της διατομής του κομματιού. [20] [Εικόνα 9]



Εικόνα 9 – Ρωγμές λόγω του φαινομένου των θερμών δακρύων [20]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^ο)
70700 – (F, T1, T5, T7)	Αλουμίνιο(90,5-93,6) Πυρίτιο(0-0,2) Σίδηρος(0-0,8) Χαλκός(0-0,2) Μαγγάνιο(0,4-0,6) Ψευδάργυρος(4-4,5) Μαγνήσιο(1,8-2,4) Τιτάνιο(0-0,25) Χρώμιο(0,2-0,4)	2,9	270-300	70000	600
71000 – (F, T1, T5)	Αλουμίνιο(90,5-93,1) Πυρίτιο(0-0,15) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0,35-0,65) Μαγγάνιο(0-0,05) Ψευδάργυρος(6-7) Μαγνήσιο(0,6-0,8) Τιτάνιο(0-0,25)	3	240-250	70000	610

71200 – (F, T1, T5)	Αλουμίνιο(90,7-94) Πυρίτιο(0-0,3) Σίδηρος(0-0,5) Χαλκός(0-0,25) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(5-6,5) Μαγνήσιο(0,5-0,65) Τιτάνιο(0,15-0,25) Χρώμιο(0,4-0,6)	3	250-260	70000	610
71300 – (F, T1, T5)	Αλουμίνιο(87,6-92,4) Πυρίτιο(0-0,25) Σίδηρος(0-1,1) Χαλκός(0,4-1) Μαγγάνιο(0-0,6) Ψευδάργυρος(7-8) Μαγνήσιο(0,2-0,5) Τιτάνιο(0-0,25) Χρώμιο(0-0,35) Νικέλιο(0-0,15)	3,1	240-260	71000	610
77100 – (F, T2, T5, T51, T52, T6, T71)	Αλουμίνιο(90,5-92,5) Πυρίτιο(0-0,15) Σίδηρος(0-0,15) Χαλκός(0-0,1) Μαγγάνιο(0-0,1) Ψευδάργυρος(6,5-7,5) Μαγνήσιο(0,8-1) Τιτάνιο(0,1-0,2) Χρώμιο(0,06-0,2)	3	250-370	70000	620

Πίνακας 15 – Κράματα της σειράς 7XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

Τα κράματα της σειράς 8XX00 είναι κράματα με κύριο προστιθέμενο στοιχείο το κασσίτερο και έχουν ιδιαίτερα υψηλή σκληρότητα επιφάνειας ενώ μέσω κατάλληλης κατεργασίας λείανσης μπορεί να επιτευχθεί εξαιρετικά λεία επιφάνεια το οποίο ευνοεί τη χρήση τους ως υλικό για τη κατασκευή τριβέων. Επίσης, πέρα από τη χαμηλή πυκνότητα, παρέχουν εξαιρετική απαγωγή της θερμότητας, υψηλή αντοχή σε θλιπτικά φορτία και σε κόπωση. Τέλος, έχουν σχετικά χαμηλό σημείο τήξης, μέτρια προς χαμηλή αντοχή σε εφελκυστικές τάσεις ενώ επιδέχονται θερμική κατεργασία για την βελτιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. [19]

Κράμα	Περιεκτικότητα στοιχείων (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή εφελκυσμού (N/mm ²)	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm ²)	Θερμοκρασία τήξης(C ^o)
85000 – T5	Αλουμίνιο(88,3-93,1) Πυρίτιο(0-0,7) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0,7-1,3) Μαγγάνιο(0-0,1) Μαγνήσιο(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,2) Κασσίτερος(5,5-7) Νικέλιο(0,7-1,3)	3,1	140	69000	370
85100 – (T5, T6)	Αλουμίνιο(86,6-91,5) Πυρίτιο(2-3) Σίδηρος(0-0,7) Χαλκός(0,7-1,3) Μαγγάνιο(0-0,1) Μαγνήσιο(0-0,1) Τιτάνιο(0-0,2) Κασσίτερος(5,5-7) Νικέλιο(0,3-0,7)	3,1	130-140	69000	360

85200 – T5	Αλουμίνιο(86,6-91,3)	3,2	200	70000	210
	Πυρίτιο(0-0,4)				
	Σίδηρος(0-0,7)				
	Χαλκός(1,7-2,3)				
	Μαγγάνιο(0-0,1)				
	Μαγνήσιο(0,6-0,9)				
	Τιτάνιο(0-0,2)				
	Κασσίτερος(5,5-7)				
Νικέλιο(0,9-1,5)					

Πίνακας 16 – Κράματα της σειράς 8XX00 που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης [17]

2.2. Διαδικασία παραγωγής των κραμάτων

Η παραγωγή των κραμάτων που παίρνουν την επιθυμητή μορφή τους μέσω χύτευσης δε διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με τα κράματα που διαμορφώνονται μηχανικά με τη διαδικασία να παραμένει κοινή μέχρι κάποιο σημείο της συνολικής διαδικασίας. Αφότου μετατραπεί το οξείδιο του αλουμινίου σε έτοιμο προς χρήση αλουμίνιο και παρότι βρίσκεται ακόμη σε υγρή μορφή υπό υψηλή θερμοκρασία εντός των δεξαμενών αποθήκευσης προστίθενται τα απαραίτητα στοιχεία, μέταλλα κατά περίπτωση, όπου και αναμιγνύονται με το βασικό υλικό ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η διαμόρφωση του έτοιμου πλέον υλικού. Μετά τη διαδικασία της ανάμιξης έχουμε τον ουσιαστικό διαχωρισμό των κραμάτων σε αυτά που προορίζονται για χύτευση και αυτά που προορίζονται για μηχανική διαμόρφωση.[7]

Η διαλυτότητα των προστιθέμενων στοιχείων στο αλουμίνιο εξαρτάται από τρεις κυρίως παράγοντες[21]:

- 1) Την ομοιότητα της κρυσταλλικής δομής των στοιχείων και του αλουμινίου
- 2) Την μεταβολή της διαμέτρου των περιεχόμενων ατόμων εντός των στοιχείων
- 3) Και τις όποιες χημικές ιδιότητες

Τα προστιθέμενα στοιχεία διαλύονται καλά στο αλουμίνιο εάν βρίσκονται σε κοντινή θέση στον περιοδικό πίνακα (Εικόνα 10), εάν είναι ισόμορφα και αν η διαφορά της ατομικής τους διαμέτρου δεν υπερβαίνει το 12%. Στοιχεία όπως το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός διαλύονται με σχετική ευκολία και χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στο αλουμίνιο. Επίσης, αν το διαλυόμενο στοιχείο έχει σημαντικά μεγαλύτερο σημείο τήξης από το αλουμίνιο, όπως ο σίδηρος

και το τιτάνιο, τότε η διαδικασία της διάλυσης είναι πολύ αργή και θεωρείται απαραίτητο η πρόσδοση επιπλέον θερμότητας στο μείγμα ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της ανάμειξης.[21]

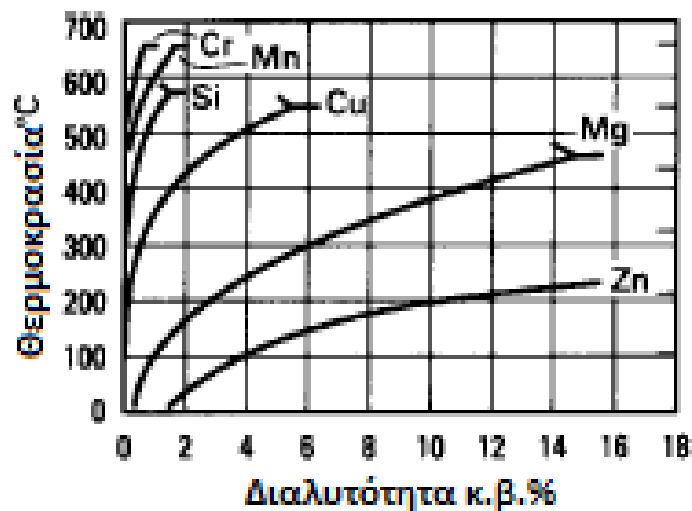
The image shows a standard periodic table of elements. Each element cell contains its atomic number, symbol, and name. The table is color-coded by groups. The Lanthanide and Actinide series are shown at the bottom, separated from the main body of the table.

Εικόνα 10 – Περιοδικός πίνακας [22]

Η διάλυση και ανάμειξη των μετάλλων συνίσταται στη καταστροφή των κρυσταλλικών τους πλεγμάτων και τη μεταφορά των ατόμων τους εντός του μείγματος. Η δύναμη που καθορίζει την κινητικότητα των ατόμων είναι η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του στοιχείου στο κρυσταλλικό πλέγμα και στην υγρή κατάσταση. Ο σχηματισμός στερεού διαμεταλλικού στρώματος εξαλείφει τη διάλυση μεταβατικών μετάλλων στο αλουμίνιο, μειώνοντας έτσι σημαντικά τη διαλυτότητα αυτών των μετάλλων στο αλουμίνιο. Ο χρόνος διαλυτοποίησης του κραματικού στοιχείου είναι βραχύς και εξαρτάται από την ταχύτητα ανάδευσης του μείγματος, εάν και εφόσον το στάδιο περιορισμού της διεργασίας είναι διάχυση διαμέσου του διαμεταλλικού στρώματος.[21]

Η διαδικασία διάλυσης των προστιθέμενων στοιχείων στο αλουμίνιο αποτελείται από 3 στάδια[21]:

- 1) Θραύση των ατομικών δεσμών στο κρυσταλλικό πλέγμα και σχηματισμός στις στρώσεις ενδομεταλλικών ενώσεων
- 2) Διάχυση των ατόμων στο ενδομεταλλικό στρώμα και ολική τήξη αυτών
- 3) Διάχυση των ατόμων εντός των ορίων του στρώματος διάχυσης



Εικόνα 11 – Διαλυτότητα κραματικών στοιχείων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [23]

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της ενσωμάτωσης του κραματικού στοιχείου στο αλουμίνιο πρέπει να επιτευχθεί διάλυση ή αλλιώς απομάκρυνση των αερίων που παράγονται κατά τα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Κατά την τήξη και τη χύτευση μη σιδηρούχων μετάλλων και κραμάτων συμβαίνουν αλληλεπιδράσεις με αέρια όπως το υδρογόνο, το οξυγόνο, το άζωτο και άλλα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καταστάσεις που δυσκολεύουν την ομαλή ενοποίηση των επιμέρους στοιχείων και οφείλονται σε μηχανισμούς χημικών αντιδράσεων και ανάμειξης. Η διάλυση των αερίων στα μέταλλα και ο σχηματισμός των ενώσεων είναι το τελικό στάδιο της αλληλεπίδρασής τους. Ο μηχανισμός προσκόλλησης του αερίου αποτελείται από: την διάχυση του αερίου στην επιφάνεια του μείγματος, τη χημική αντίδραση στην επιφάνεια του μείγματος και τη διάχυση στο υπό υγρή κατάσταση υλικό. Για τη κάλυψη και τη προστασία του μείγματος χρησιμοποιείται συνήθως χλωριούχο νάτριο, κοινώς αλάτι, το οποίο επίσης υποβοηθάει την απομάκρυνση των αερίων από το μείγμα.[21]

Λόγω του υδρογόνου που βρίσκεται εντός του υπό υγρή κατάσταση μείγματος η διαδικασία της εκδίωξης των αερίων από αυτό δεν είναι ποτέ πλήρης και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υδρογόνο έχει υψηλή διαλυτότητα με το αλουμίνιο η οποία αυξάνεται με οποιαδήποτε αύξηση της θερμοκρασίας. Σε σπάνιες περιπτώσεις εφαρμόζεται κενό στο μείγμα όπου έχουμε αναρρόφηση των αερίων η οποία διαδικασία είναι εξαιρετικά αποτελεσματική και σχετικά καθαρή αρκετά κοστοβόρα και απαιτεί τη χρήση ειδικού εξοπλισμού.[21]

Τα κράματα αλουμινίου-πυριτίου, τα οποία είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα, υπόκεινται σε μια ειδική διαδικασία τροποποίησης όπου έχουμε τον ψεκάσμό κρυστάλλων πυριτίου στο υγρό αλουμίνιο το οποίο βελτιώνει τη δομή του τελικού υλικού και γενικά το συνολικό αποτέλεσμα έχοντας έτσι βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και μειώνοντας στο ελάχιστο την εμφάνιση κοιλοτήτων εντός του υλικού αλλά και αποτροπή εν μέρει του φαινομένου των θερμών δακρύων όπου έχουμε ρωγμές.[21]

Επιπλέον, στην επιφάνεια του λιωμένου μετάλλου βρίσκονται ακαθαρσίες, κοινώς σκουριά, οι οποίες αποτελούν ένα μείγμα οξειδίων του αργιλίου και άλλων μη μεταλλικών υλικών. Οι παραπάνω ακαθαρσίες δημιουργούνται κάθε φορά που το αλουμίνιο προστίθεται στο κλίβανο για τη βαφή του ή για οποιεσδήποτε διεργασίες που απαιτούν τη θέρμανση αυτού ενώ αφαιρείται από την επιφάνεια του λιωμένου αλουμινίου και αποθηκεύεται σε ειδικά δοχεία όπου και ψύχεται με αέριο αργόν για την απομάκρυνση του οξυγόνου ενώ στη συνέχεια ακολουθεί ειδική διαδικασία ή αλλιώς ανακύκλωση όπου ανακτώνται οι όποιες ποσότητες αλουμινίου βρίσκονται εντός αυτού και επαναχρησιμοποιείται.[24]

Εφόσον το μείγμα έχει περάσει από όλες τις προηγούμενες διαδικασίες υποβάλλεται σε έλεγχο μέσω της χρήσης φασματοσκόπιου το οποίο προσδιορίζει την συγκέντρωση των περιεχόμενων στοιχείων στο εκάστοτε κράμα μέσω της σύγκρισης της έντασης των μηκών κύματος που παράγονται μέσω της σκέδασης αυτών στο υλικό. Τέλος, προστίθενται σκληρυντικοί παράγοντες, στην πλειονότητα των περιπτώσεων πυρίτιο και μαγνήσιο, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη συγκέντρωση αυτών εντός του μείγματος και να καλύπτονται οι προδιαγραφές της χύτευσης του κράματος.[24]

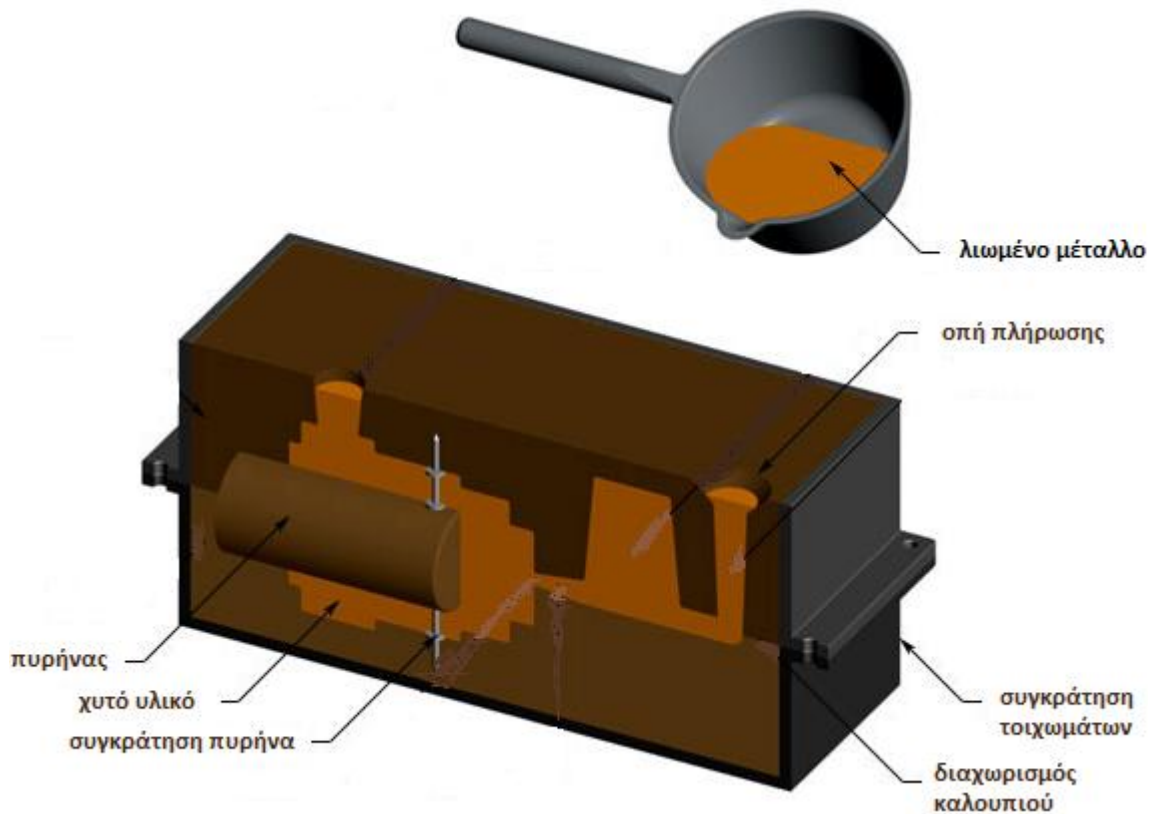
2.2.1 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω χύτευσης

Αφότου προστεθούν τα απαραίτητα κραματικά στοιχεία εντός του αλουμινίου και εφόσον έχει διεκπεραιωθεί η διαδικασία εκδίωξης του υδρογόνου από το παραπάνω μείγμα και των λοιπών ανεπιθύμητων αερίων όπως και η διαδικασία της απομάκρυνσης των ακαθαρσιών από την επιφάνεια του μείγματος μπορεί πλέον το υλικό να χυτευτεί και να πάρει την επιθυμητή μορφή για τη χρήση που προορίζεται. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι χύτευσης που χρησιμοποιούνται με τη χρήση κάποιων να συναντάται συχνότερα.

Χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης από άμμο

Η διαδικασία αποτελείται από 5 στάδια τα οποία είναι τα εξής[25]:

- 1) Το πρώτο βήμα αποτελείται από τη δημιουργία του καλουπιού για τη χύτευση όπου η άμμος τοποθετείται γύρω από το πρότυπο του αντικειμένου που πρόκειται να χυτευθεί και στη συνέχεια το πρότυπο αφαιρείται. Οποιοσδήποτε εσωτερικές οπές που δεν μπορούν να διαμορφωθούν από το πρότυπο διαμορφώνονται με τη χρήση ειδικών πυρήνων κατασκευασμένων από άμμο.
- 2) Το δεύτερο βήμα αποτελείται από τη συμπίεση του καλουπιού όπου τα δύο κομμάτια του καλουπιού ενώνονται και συμπιέζονται για τη ενοποίηση του καλουπιού.
- 3) Το τρίτο βήμα αποτελείται από το χύσιμο του λιωμένου μετάλλου το οποίο γίνεται χειρωνακτικά ή αυτοματοποιημένα ενώ ο χρόνος έκχυσης πρέπει να είναι σύντομος ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε στερεοποίηση τμήματος του μετάλλου που χύθηκε εντός του καλουπιού.
- 4) Το τέταρτο βήμα αποτελείται από τη ψύξη του καλουπιού ώστε να στερεοποιηθεί το αντικείμενο. Ο χρόνος ψύξης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του μετάλλου και το πάχος των τοιχωμάτων του καλουπιού ενώ αν κάποια περιοχή του τεμαχίου στερεοποιηθεί συντομότερα από άλλες είναι πιθανόν να συρρικνωθεί ή να δημιουργηθούν ρωγμές.
- 5) Το πέμπτο βήμα αποτελείται από τη θραύση και το άνοιγμα του καλουπιού μετά τη ολική στερεοποίηση του τεμαχίου το οποίο πραγματοποιείται μέσω δόνησης αυτού.

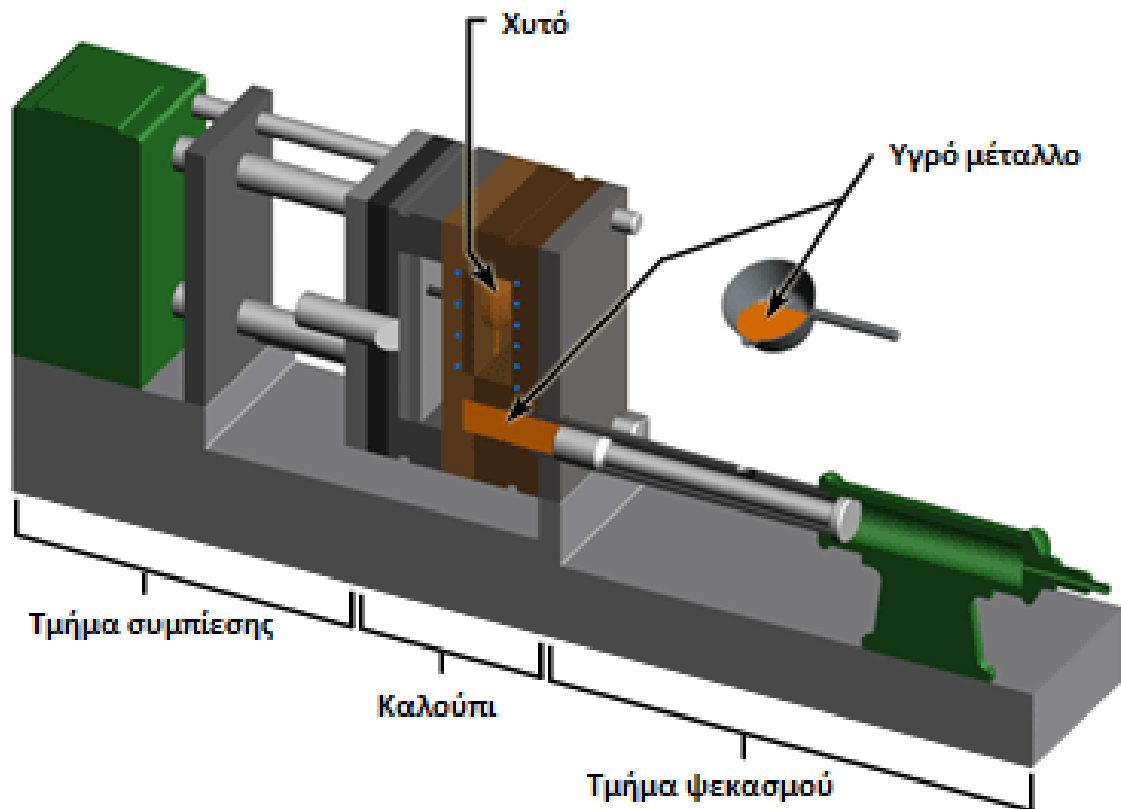


Εικόνα 12 – Χύτευση σε καλούπι μιας χρήσης από άμμο [25]

Χύτευση σε μόνιμα καλούπια ψυχρού θαλάμου

Η διαδικασία αποτελείται από 4 στάδια τα οποία είναι τα εξής[26]:

- 1) Στο πρώτο βήμα έχουμε τη σύσφιξη των δύο πλακών του καλούπιού οι οποίες πρώτου χρησιμοποιηθούν καθαρίζονται σχολαστικά από τα υπολείμματα της προηγούμενης χύτευσης.
- 2) Στο δεύτερο βήμα έχουμε τον ψεκασμό υπό υψηλή πίεση του υγρού μετάλλου το οποίο προτού ψεκασθεί διατηρείται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία σε έναν άλλο θάλαμο.
- 3) Στο τρίτο βήμα έχουμε τη ψύξη του μετάλλου εντός του καλούπιού με το χρόνο στερεοποίησης του να εξαρτάται από το πάχος των τοιχωμάτων του καλούπιού και από τη γεωμετρία αυτού.
- 4) Στο τέταρτο βήμα έχουμε την εξώθηση του έτοιμου πλέον χυτού όπου μέσω ανοίγματος των δύο πλακών έχουμε την απομάκρυνση του μέσω ενός μηχανισμού εξώθησης.



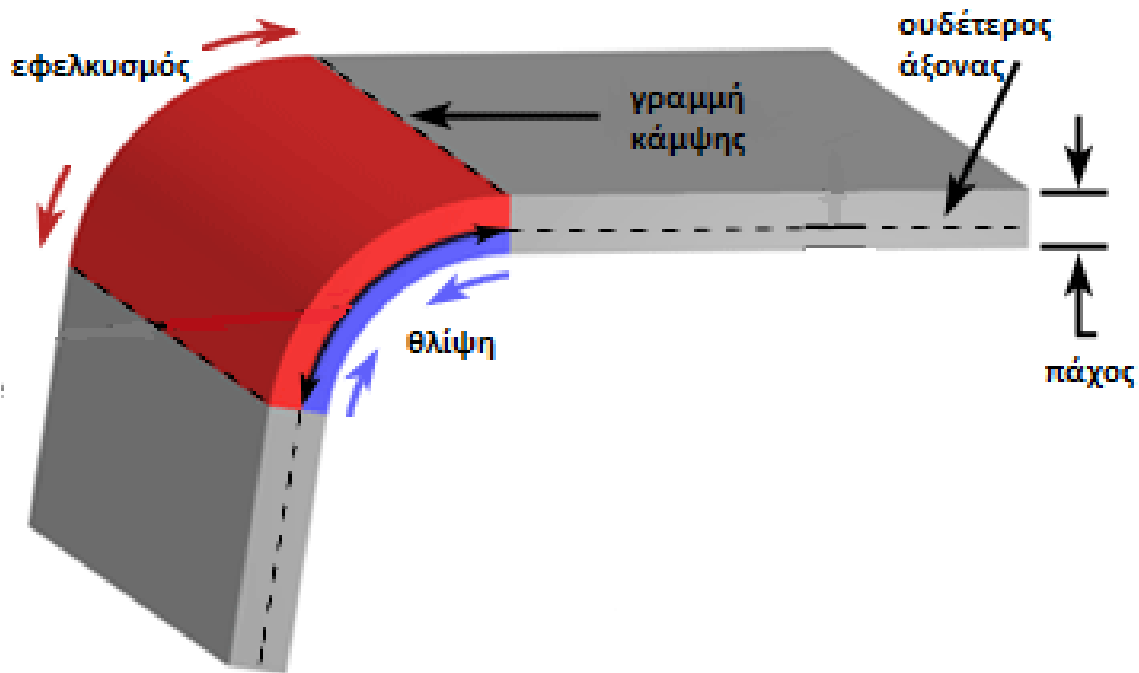
Εικόνα 13 – Χύτευση σε μόνιμο καλούπι ψυχρού θαλάμου [26]

2.2.2 Κράματα που μορφοποιούνται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων

Τα κράματα μόλις στερεοποιηθούν μπορούν να διαμορφωθούν στο επιθυμητό σχήμα μέσω διάφορων μεθόδων μηχανικών διαμορφώσεων.

Κάμψη

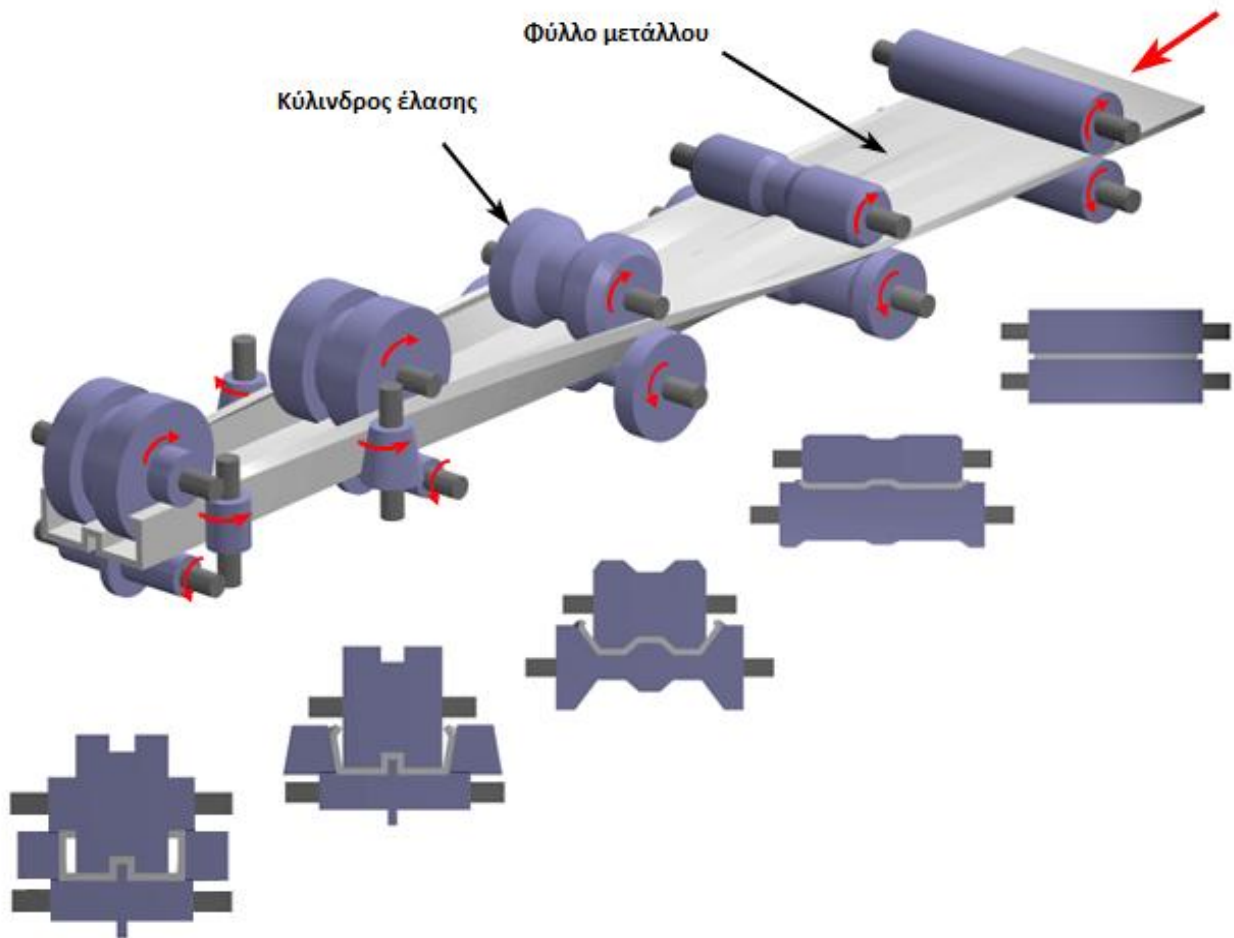
Η κάμψη είναι μια μηχανική κατεργασία κατά την οποία έχουμε την εφαρμογή μιας δύναμης με τη βοήθεια της οποίας το μεταλλικό τεμάχιο κάμπτεται παίρνοντας το επιθυμητό σχήμα. Στην περιοχή όπου έχουμε παραμόρφωση του υλικού, το εξωτερικό μέρος υφίσταται εφελκυσμό ενώ το εσωτερικό υφίσταται θλίψη ενώ τα παραπάνω διαχωρίζονται από την ουδέτερη γραμμή η οποία συνήθως βρίσκεται στο μέσον του εκάστοτε τεμαχίου.[27]



Εικόνα 14 – Κάμψη ελάσματος [27]

Έλαση

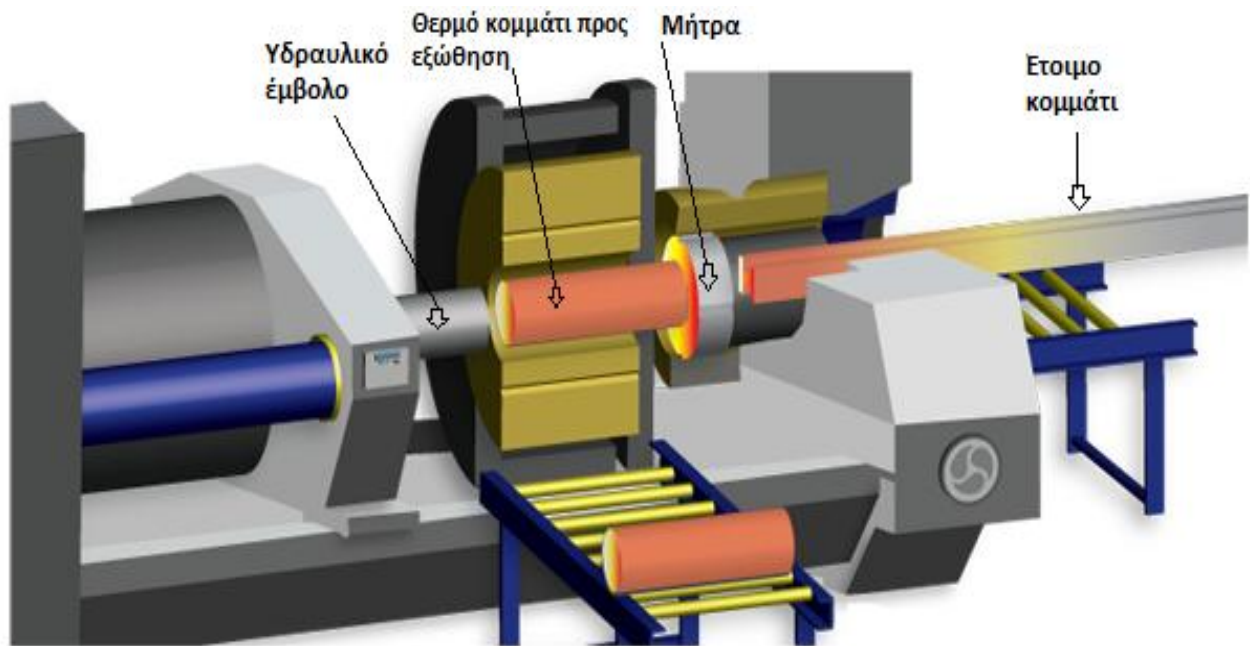
Κατά την έλαση έχουμε τη διαμόρφωση ελασμάτων μέσω της σταδιακής κύλισης αυτών διαμέσου εργαλείων με τη μορφή κυλίνδρων όπου το εκάστοτε έλασμα υφίσταται μείωση του πάχους του ή αλλαγή της διατομής του μέσω της χρήσης πιο σύνθετων εργαλείων. Οι κύλινδροι λιπαίνονται ώστε να περιορίζεται η τριβή μεταξύ αυτών και των ελασμάτων και να έχουμε ευκολότερη διαμόρφωση αυτών. Η έλαση είναι μια πολύ χρήσιμη διεργασία και ευρέως χρησιμοποιούμενη λόγω της χρηστικότητας της και της δυνατότητας για δημιουργία διάφορων προφίλ και περίπλοκων διατομών.[27]



Εικόνα 15 – Έλαση ελάσματος [27]

Εξώθηση

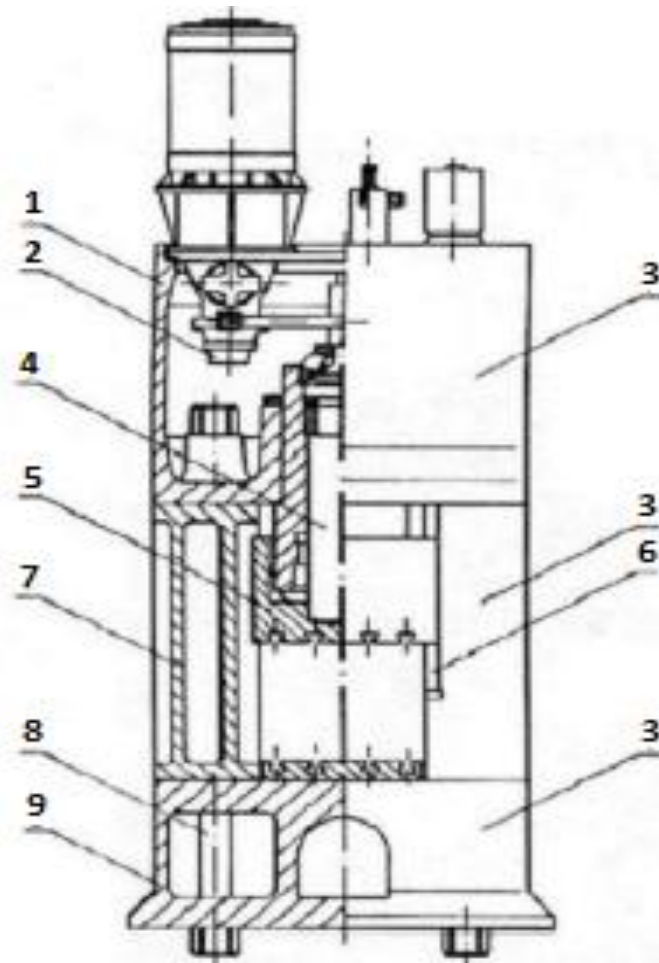
Η εξώθηση είναι μια κατεργασία κατά την οποία ένα μεταλλικό τεμάχιο, στη πλειοψηφία των περιπτώσεων κυκλικής διατομής, περνάει μέσω της πίεσης ειδικού εμβόλου μέσα από μια μήτρα η οποία έχει το σχήμα για το οποίο προορίζεται το εκάστοτε κομμάτι με αποτέλεσμα μετά τη διέλευση του κομματιού μέσα από τη μήτρα το κομμάτι να προσλαμβάνει την επιθυμητή μορφή της διατομής του. Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία πρέπει πρώτα το μεταλλικό τεμάχιο να περάσει από κλίβανο όπου και θερμαίνεται στους τουλάχιστον 450 C° , αναφορικά με κράματα του αλουμινίου, για να είναι εύπλαστο και εύκολα διαμορφώσιμο και ακολουθεί η μεταφορά του μπροστά από την εσοχή της μήτρας όπου μέσω της πίεσης από έμβολο που εκμεταλλεύεται υψηλή υδραυλική πίεση ωθείται πλέον διαμέσου της μήτρας παίρνοντας έτσι το επιθυμητό σχήμα.[28]



Εικόνα 16 – Εξώθηση ελάσματος [28]

Μορφοποίηση μέσω πρέσας

Με τη χρήση υδραυλικής πρέσας (εικόνα 17) μπορούν να μορφοποιούνται διάφορα λαμαρινοτεμάχια και να μετατρέπονται σε εξαρτήματα έτοιμα προς χρήση σε οχήματα. Στις υδραυλικές πρέσες η κίνηση και η δύναμη του εμβόλου που διαμορφώνει τα τεμάχια δημιουργούνται από ένα υγρό. Ως υδραυλικά υγρά χρησιμοποιούνται συνήθως ορυκτά λάδια τα οποία χρησιμεύουν και για την λίπανση των μερών της πρέσας που έρχονται σε επαφή μαζί τους, την προστασία τους από διάβρωση και την απαγωγή από αυτά θερμότητας. Οι πρέσες που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση λαμαρινοτεμαχίων αμαξωμάτων έχουν μεγάλο τραπέζι και μεσαίου μεγέθους ονομαστική δύναμη, συνήθως 630 με 1600 τόνους.[29]

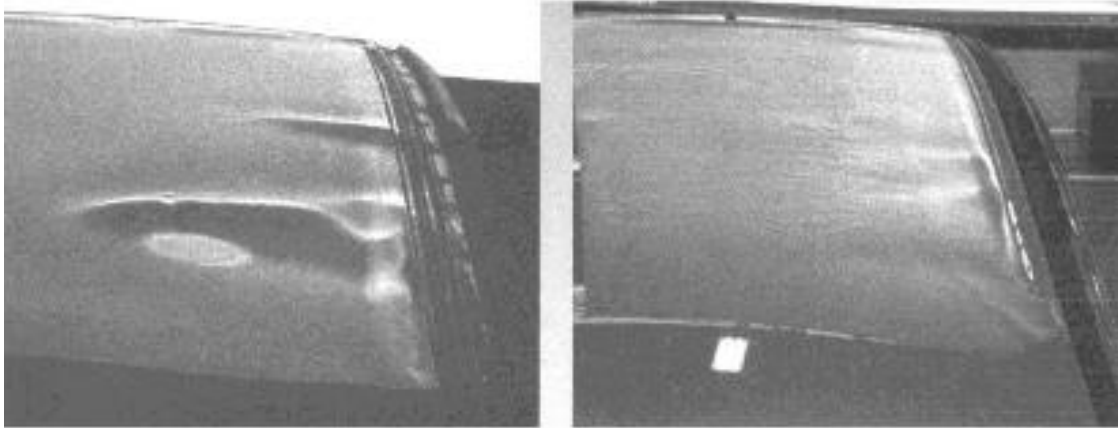


Εικόνα 17 – Υδραυλική πρέσα λαμαρινοτεμαχίων. 1: κεφαλή, 2: αντλία, 3 και 7: ορθοστάτες, 4: υδραυλικός κύλινδρος, 5: έμβολο, 6: οδήγηση, 8: ράβδος προέντασης, 9: τραπέζι [29]

2.3. Η χρήση των κραμάτων του αλουμινίου στα διάφορα τμήματα του οχήματος

Οροφή

Η κατασκευή της οροφής ενός οχήματος παίζει δραματικό ρόλο στην οδική συμπεριφορά αυτού επηρεάζοντας άμεσα τον κέντρο βάρους αυτού επιβάλλοντας τη χρήση ελαφριών υλικών ενώ πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ανθεκτική σε οποιαδήποτε περίπτωση ατυχήματος. (εικόνα 18) Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η χρήση κραμάτων του αλουμινίου με ιδιαίτερη έμφαση στα κράματα της σειράς 6XXX που διαμορφώνονται με τη χρήση μηχανικών διαμορφώσεων και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση υδραυλικής πρέσας.[30]



Εικόνα 18 – Παραμόρφωση οροφής οχήματος λόγω δοκιμής σύγκρουσης (αρ.6016 , δεξ.6056) [30]

Θύρες

Στη πλειονότητα των περιπτώσεων ως υλικό κατασκευής για το εξωτερικό των θυρών χρησιμοποιούνται κράματα της σειράς 6XXX που διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων ενώ για την εσωτερική δομή χρησιμοποιούνται συνήθως αυτά της σειράς 5XXX ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε τη χρήση της σειράς 6XXX. Το εξωτερικό των θυρών διαμορφώνεται κυρίως με τη χρήση πρέσας ενώ το εσωτερικό μπορεί να παράγεται με τη χρήση πρέσας ή μέσω εξώθησης.[31]



Εικόνα 19 – Κατασκευαστικό παράδειγμα θύρας[31]

Η χρήση της εξώθησης ενδείκνυται μόνο σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πλαίσιο γύρω από τα παράθυρα το οποίο και κατασκευάζεται μέσω εξώθησης και ενώνεται με την υπόλοιπη δομή μέσω συγκόλλησης ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις το εσωτερικό τμήμα της πόρτας αποτελείται από πολλά ξεχωριστά τεμάχια τα οποία και ενώνονται.[31]

Θύρα χώρου αποσκευών

Η χρησιμότητα της θύρας του χώρου αποσκευών είναι η στεγανοποίηση αυτού και η δυνατότητα για πρόσβαση σε αυτές ενώ όταν ανοίγει στην πλειονότητα των περιπτώσεων συγκρατείται από ένα απλό σύστημα αμορτισέρ αερίου. Στην πραγματικότητα, στη θύρα του χώρου αποσκευών δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται τόσο συχνά αλουμίνιο όσο για το καπό εξαιτίας της διανομής της μάζας του οχήματος όπου η περισσότερη μάζα συγκεντρώνεται στο μπροστινό μέρος αυτού. Όταν εφαρμόζονται κράματα του αλουμινίου για την κατασκευή του χώρου αποσκευών συνηθίζεται η χρήση αυτών της σειράς 6XXX για το εξωτερικό φύλλο αλουμινίου και κράματα της σειράς 5XXX για τα εσωτερικά τμήματα ενώ επιτυγχάνεται μείωση της μάζας αυτού κατά 50 % σε σύγκριση με αντίστοιχη κατασκευή από χάλυβα. Το εξωτερικό φύλλο αλουμινίου παράγεται στη πλειονότητα των περιπτώσεων μέσω διαμόρφωσης με τη χρήση υδραυλικής πρέσας ενώ τα εξωτερικά τμήματα μέσω εξώθησης ή με τη χρήση υδραυλικής πρέσας και στη συνέχεια ενώνονται μέσω συγκόλλησης ηλεκτρικής αντίστασης.[31]



Εικόνα 20 – Κατασκευαστικό παράδειγμα θύρας χώρου αποσκευών[31]

Προφυλακτήρας - ζώνη σύγκρουσης

Ο προφυλακτήρας είναι ένα ιδιαίτερα περίεργο κομμάτι του οχήματος με διάφορα λειτουργικά αλλά και αισθητικά ζητήματα όπου από πίσω του εδράζονται διάφορα λειτουργικά εξαρτήματα του οχήματος. Επίσης ως μπροστινό τμήμα του οχήματος πρέπει να παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια σε οποιαδήποτε περίπτωση σύγκρουσης ενώ λόγω της συνύπαρξής του σε πολύ κοντινή απόσταση με τον κινητήρα πρέπει να αντέχει σε οποιεσδήποτε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας.[30]



Εικόνα 21 – Βάση προφυλακτήρα[32]

Η βάση του προφυλακτήρα, ως δομικό στοιχείο αυτού, παράγεται μέσω χύτευσης ενώ κράματα που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως αυτά της σειράς 4XX00 παίζοντας παράλληλα σημαντικό ρόλο στη συνολική στιβαρότητα του οχήματος έχοντας μειωμένη μάζα κατά 15 % περίπου σε σχέση με χαλύβδινη κατασκευή.[32]

Μπροστά από τον πίνακα οργάνων του οχήματος βρίσκεται μια μεταλλική βάση πάνω στην οποία στηρίζονται πέρα από τον πίνακα και άλλα εξαρτήματα όπως η κολώνα του τιμονιού, το σύστημα των αερόσακων και άλλα εξαρτήματα ζωτικής σημασίας. Πέρα όμως από τη χρήση αυτή χρησιμεύει και στο να προστατεύει του επιβάτες σε περίπτωση σύγκρουσης. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται να είναι αρκετά στιβαρό αλλά και ελαφρύ ώστε να βοηθά στη σωστή διανομή της μάζας του οχήματος. Κατασκευές που συνηθίζονται είναι από κράματα της σειράς 6XXX που διαμορφώνονται μέσω εξώθησης αλλά και μερικά κομμάτια που είναι δυνατόν να ανήκουν στη σειρά 5XXX ενώ ενώνονται με τη χρήση συγκόλλησης τύπου MIG.[32]



Εικόνα 22 – Βάση πίνακα οργάνων-ζώνη σύγκρουσης[32]

Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται χυτά κράματα επιδιώκοντας τη δημιουργία πιο πολύπλοκων μορφών. Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε τη χρήση κραμάτων της σειράς 4XX00 όπου και χυτεύονται σε καλούπια μιας χρήσης από άμμο ενώ τεμάχια που παράγονται με διαφορετικές διαδικασίες ενώνονται με το σώμα της κατασκευής μέσω συγκόλλησης MIG ή με τη χρήση ήλων. Σε γενική βάση, κατασκευές από κράματα του αλουμινίου έχουν πλεονέκτημα ως προς τη μικρότερη μάζα σε σχέση με κατασκευές από χάλυβα της τάξης του 40%. [32]



Εικόνα 23 – Βάση πίνακα οργάνων από κράμα χύτευσης[32]

Υπόλοιπα τμήματα του αμαξώματος και λοιπά μέρη

Η χρήση των κραμάτων του αλουμινίου είναι διαδεδομένη στη παραγωγή εξαρτημάτων όπως η βάση του κινητήρα, το κάλυμμα του κινητήρα αλλά και το κάλυμμα του κάτω μέρους του οχήματος.[32]



Εικόνα 24 – Βάση κινητήρα από κράμα χύτευσης[32]

Η βάση του κινητήρα τοποθετείται ακριβώς κάτω από αυτόν και ενώνεται με το πλαίσιο στηρίζοντας τον. Στις πιο πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τεμάχια από κράματα αλουμινίου της σειράς 6XXX, συνήθως 6063 και 6061, τα οποία διαμορφώνονται μέσω εξώθησης ενώ στη συνέχεια ενώνονται μεταξύ τους μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης MIG. Τα τελευταία όμως χρόνια οι κατασκευαστές τείνουν να χρησιμοποιούν όλο και πιο πολύ χυτά κράματα για την κατασκευή της βάσης του κινητήρα με κύρια κράματα αυτά της σειράς 4XX00 και 3XX00 ενώ χυτεύονται υπό υψηλή πίεση σε μόνιμα καλούπια ψυχρού θαλάμου.[32]



Εικόνα 25 – Βάση κινητήρα από κράμα χύτευσης 43300 [32]



Εικόνα 26 – Κάλυμμα οπίσθιου μέρους πατώματος από κράμα 6016 [32]

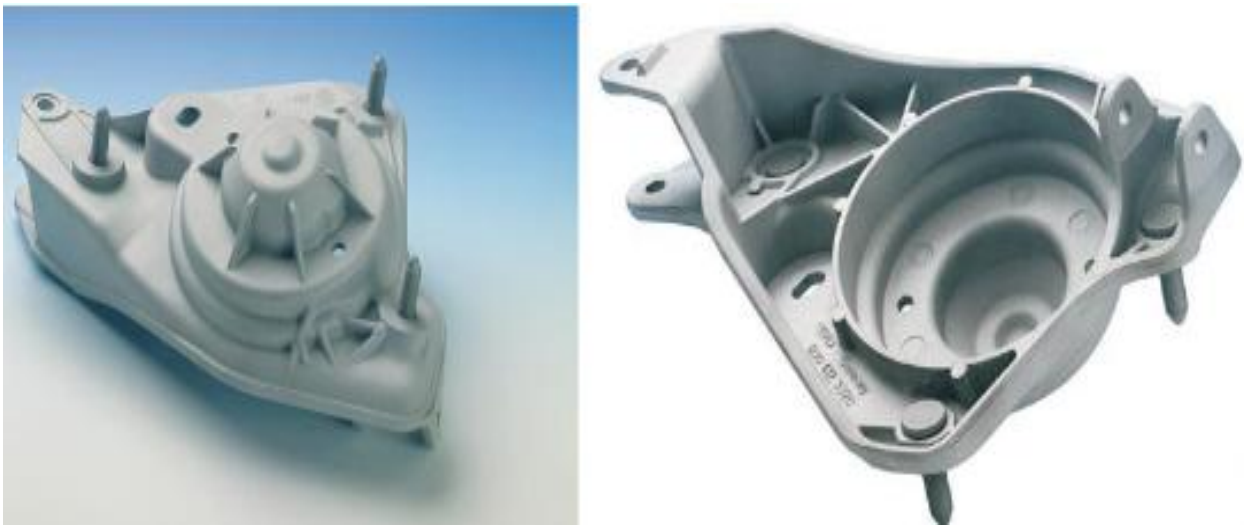
Φύλλα αλουμινίου που παράγονται μέσω διέλασης ή με τη χρήση υδραυλικής πρέσας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κάλυψη του κάτω μέρους του κινητήρα αλλά και του πατώματος του οχήματος από φθορά αλλά και για λόγους αεροδυναμικής. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται χυτά κράματα αλουμινίου αλλά η εφαρμογή τους συνίσταται μόνο σε περιπτώσεις όπου το απαιτούμενο σχήμα είναι αρκετά περίπλοκο. Κράματα που συναντώνται συνήθως σε αυτές τις εφαρμογές είναι το 6016 και 6111 αλλά και χυτά κράματα της σειράς 5XX00. Τα παραπάνω ενώνονται μεταξύ τους αλλά και με το αμάξωμα συνήθως με τη χρήση ήλων.[32]



Εικόνα 27 – Αριστερά: Κάλυμμα κεντρικού τούνελ, Δεξιά: Λοιπό τμήμα από το κάλυμμα του πατώματος (Κράμα σειράς 5XX00) [32]

Σύστημα ανάρτησης

Στο σύστημα ανάρτησης έχουμε τη χρήση κραμάτων του αλουμινίου και συγκεκριμένα στην άνω βάση του συστήματος ανάρτησης όπου και ενώνεται με το αμάξωμα αλλά και στους βραχίονες αυτού. Η άνω βάση της ανάρτησης ή αλλιώς ο θόλος εξυπηρετεί την στήριξη του αμορτισέρ και ελατηρίου σε κάθε τροχό ξεχωριστά με αποτέλεσμα να πρέπει να μπορεί να αντεπεξέλθει στα υψηλά στατικά αλλά και δυναμικά φορτία που δέχεται σε όλες τις συνθήκες.



Εικόνα 28 – Άνω βάση ανάρτησης (θόλος) από κράμα 43400 [32]

Εξαιτίας των εξαιρετικών απαιτήσεων της συγκεκριμένης περιοχής απαιτείται η προσεκτική επιλογή του κατάλληλου κράματος αλλά και της θερμικής επεξεργασίας που θα ακολουθήσει μετά την παραγωγή του. Το πλεονέκτημα των χυτών τεμαχίων σε αυτή τη περίπτωση είναι ότι μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε περίπλοκη γεωμετρία αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι είναι δυνατόν να υπάρξουν στρεβλώσεις κατά την ψύξη των τεμαχίων ή ακόμα και κατά τη θερμική επεξεργασία τους. Κράματα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα 51400, 43400 και 43500 τα οποία θεωρούνται στη πλειονότητα των περιπτώσεων ως τα καταλληλότερα για αυτήν την εφαρμογή.[32]



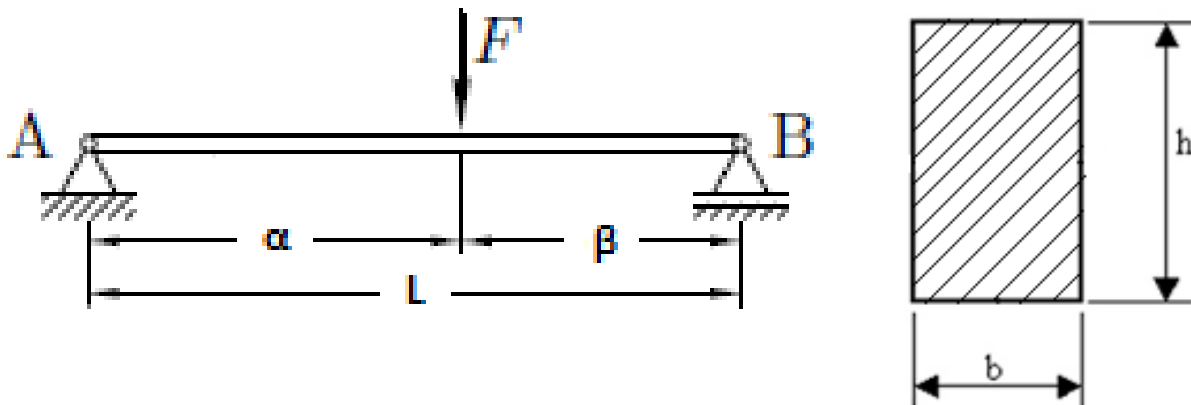
Εικόνα 29 – Άνω βάσεις ανάρτησης (μικροί κύκλοι) και βάση κινητήρα (μεγάλος κύκλος) [32]

Στην **εικόνα 29** παρατηρούμε εντός των 2 μικρών μαύρων κύκλων τις άνω βάσεις των αναρτήσεων του μπροστινού τμήματος του οχήματος ενώ εντός του μεγάλου μαύρου κύκλου παρουσιάζεται η βάση του κινητήρα.[32]



Εικόνα 30 – Άνω βάσεις ανάρτησης από κράμα χύτευσης (αριστερά:51400 και δεξιά:43500) [32]

Ανεξάρτητα από τον τύπο και τη γεωμετρία του συστήματος ανάρτησης η χρήση ελαφριών υλικών όπως κράματα του αλουμινίου έχει θετική επίδραση στη λειτουργία αυτού αφού έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη μάζα άρα και αδράνεια των κινούμενων μερών. Συγκριτικά με μια αντίστοιχη χαλύβδινη κατασκευή είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση της μάζας έως και κατά 50% με αντίστοιχη αύξηση της δομικής ακαμψίας. Στο παράδειγμα που ακολουθεί επαληθεύεται το παραπάνω ποσοστό.[32]



Εικόνα 31 – Δοκός υπολογιστικού παραδείγματος

Έστω ότι έχουμε μια δοκό από χάλυβα μήκους L η οποία καταπονείται σε κάμψη από μια δύναμη F σε στο ενδιάμεσο μήκος της και η διατομή της έχει μορφή συμπαγούς ορθογώνιου παραλληλογράμμου όπως απεικονίζεται στην **εικόνα 31**. Το μέγιστο βέλος κάμψης της δοκού εμφανίζεται στο μέσον της και υπολογίζεται από τον τύπο $Y_{max}=(F*L^3)/(48*E*I)$ όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας ($E_{χαλ}=210000N/mm^2$ και $E_{αλ}=70000N/mm^2$) και I είναι η ροπή αδράνειας όπου για τη συγκεκριμένη διατομή δίνεται από τον τύπο $I=(b*h^3)/12$. Εφόσον πρόκειται να αντικατασταθεί η συγκεκριμένη δοκός από αντίστοιχη αλουμινένια πρέπει να πραγματοποιηθεί αλλαγή των διαστάσεων αυτής από αλουμίνιο ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στα φορτία της κατασκευής. Πρέπει λοιπόν οι δύο δοκοί να έχουν το ίδιο μέγιστο βέλος κάμψης κατά την εφαρμογή της ίδιας δύναμης, να ισχύει δηλαδή $Y_{max_{χαλ}}= Y_{max_{αλ}}$.

$$Y_{max_{χαλ}} = Y_{max_{αλ}} \Rightarrow$$

$$(F*L^3)/(48*E_{χαλ}*I_{χαλ}) = (F*L^3)/(48*E_{αλ}*I_{αλ}) \Rightarrow$$

$$E_{χαλ}*I_{χαλ} = E_{αλ}*I_{αλ} \Rightarrow I_{αλ}/I_{χαλ} = E_{χαλ}/E_{αλ} = 210000/70000 = 3 \Rightarrow$$

$$((b_{αλ}*h_{αλ}^3)/12) / ((b_{χαλ}*h_{χαλ}^3)/12) = 3 \Rightarrow (b_{αλ}*h_{αλ}^3) / (b_{χαλ}*h_{χαλ}^3) = 3$$

1) Αν θεωρήσουμε ότι η νέα δοκός θα έχει το ίδιο πλάτος ($b_{αλ} = b_{χαλ}$) στη διατομή τότε θα πρέπει να μεταβληθεί το ύψος αυτής οπότε και θα ισχύει: $(h_{αλ}/h_{χαλ})^3 = 3 \Rightarrow h_{αλ}/h_{χαλ} = \sqrt[3]{3}=1,44$

2) Αν θεωρήσουμε ότι η νέα δοκός θα έχει το ίδιο ύψος ($h_{αλ} = h_{χαλ}$) στη διατομή τότε θα πρέπει να μεταβληθεί το πλάτος αυτής οπότε και θα ισχύει: $b_{αλ}/b_{χαλ} = 3$

3) Ο όγκος ενός ορθογώνιου παραλληλογράμμου δίνεται από τον τύπο $V=b*h*L$.

Για την δοκό από αλουμίνιο της πρώτης περίπτωσης όπου ισχύει $b_{αλ} = b_{χαλ}$ έχουμε την εξής σχέση: $V_{αλ}/V_{χαλ} = (b_{αλ}*h_{αλ}*L) / (b_{χαλ}*h_{χαλ}*L) \Rightarrow$

$$V_{αλ}/V_{χαλ} = (b_{χαλ}*(1,44*h_{χαλ}) *L) / (b_{χαλ}*h_{χαλ}*L) \Rightarrow$$

$$V_{αλ} / V_{χαλ} = 1,44 \quad (1)$$

Για την δοκό από αλουμίνιο της δεύτερης περίπτωσης όπου ισχύει $h_{αλ} = h_{χαλ}$ έχουμε την εξής σχέση: $V_{αλ}/V_{χαλ} = (b_{αλ}*h_{αλ}*L) / (b_{χαλ}*h_{χαλ}*L) \Rightarrow$

$$V_{αλ}/V_{χαλ} = ((3*b_{χαλ})*h_{χαλ} *L) / (b_{χαλ}*h_{χαλ}*L) \Rightarrow$$

$$V_{αλ} / V_{χαλ} = 3 \quad (2)$$

4) Εφόσον η πυκνότητα του αλουμινίου είναι ίση με $\rho=2,7*10^3 \text{ kg/m}^3$ και του χάλυβα ίση με $\rho=7,8*10^3 \text{ kg/m}^3$ τότε ο λόγος της μάζας της δοκού από αλουμίνιο προς τη μάζα της δοκού από χάλυβα υπολογίζεται ως εξής:

Για την δοκό από αλουμίνιο της πρώτης περίπτωσης όπου ισχύει $b_{αλ} = b_{χαλ}$ έχουμε $m_{αλ}/m_{χαλ} = (\rho_{αλ}*V_{αλ}) / (\rho_{χαλ}*V_{χαλ}) \Rightarrow$

$$m_{αλ}/m_{χαλ} = ((2,7*10^3) / (7,8*10^3))*1,44 = 0,498$$

Για την δοκό από αλουμίνιο της δεύτερης περίπτωσης όπου ισχύει $h_{αλ} = h_{χαλ}$ έχουμε $m_{αλ}/m_{χαλ} = (\rho_{αλ}*V_{αλ}) / (\rho_{χαλ}*V_{χαλ}) \Rightarrow$

$$m_{αλ}/m_{χαλ} = ((2,7*10^3) / (7,8*10^3))*3 = 1,038$$

5) Παρατηρείται ότι στη δεύτερη περίπτωση, όπου το ύψος h της δοκού από αλουμίνιο παραμένει ίδιο με αυτό της χαλύβδινης και αυξάνεται το πλάτος της b , η μάζα αυξάνεται κατά 3,8% σε σχέση με την χαλύβδινη δοκό. Οπότε είναι προφανώς προτιμότερο να αυξήσουμε το ύψος h της δοκού από αλουμίνιο, όπως και συμβαίνει στη πρώτη περίπτωση, ώστε να έχουμε την ίδια αντοχή κατά την παραμόρφωση της λόγω κάμψης αλλά παράλληλα να έχουμε και μια μείωση της μάζας της δοκού από αλουμίνιο σε ποσοστό ελαφρώς μεγαλύτερο του 50% σε σχέση με την δοκό από χάλυβα.

6) Η μέγιστη μείωση της μάζας της δοκού από αλουμίνιο επιτυγχάνεται κατά την πρώτη περίπτωση όπου το πλάτος της b παραμένει σταθερό σε σχέση με την χαλύβδινη δοκό ενώ το ύψος της h αυξάνεται έχοντας έτσι μια μείωση της μάζας σε σύγκριση με τη δοκό από χάλυβα η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$m\% = ((m_{\chi\alpha\lambda} - m_{\alpha\lambda}) * 100) / m_{\chi\alpha\lambda} \Rightarrow m\% = ((m_{\chi\alpha\lambda} - (0,498 * m_{\chi\alpha\lambda})) * 100) / m_{\chi\alpha\lambda} \Rightarrow$$

$$m\% = (1 - 0,498) * 100 = 50,2 \%$$

Οι βραχίονες της ανάρτησης είναι δυνατόν να παράγονται μέσω σφυρηλασίας με τη χρήση υδραυλικής πρέσας ή σφύρας ενώ είναι δυνατή και η χρήση αντίστοιχων χυτών. Αναφορικά με τα κράματα που διαμορφώνονται μηχανικά κυριαρχεί η χρήση αυτών της σειράς 6XXX και πιο συγκεκριμένα έχει εδραιωθεί η χρήση του κράματος 6082 το οποίο υφίσταται θερμική κατεργασία τύπου T6 με ακολουθούμενη τη τεχνική γήρανση αυτού.[32]



Εικόνα 32 – Διαδικασία παραγωγής βραχίονα ανάρτησης από κράμα 6082-T6 [32]

Στην **εικόνα 32** παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής βραχίονα από οπίσθιο σύστημα ανάρτησης επιβατικού οχήματος κατασκευασμένο από κράμα 6082-T6 όπου στο πρώτο τεμάχιο έχουμε τη διαμόρφωση του αρχικού σχήματος, στο δεύτερο τη δημιουργία των οπών στα απαραίτητα σημεία και τέλος την προσαρμογή των ανάλογων ελαστικών συνδέσμων επί των οπών.[32]

Αναφορικά με τους βραχίονες που παράγονται μέσω χύτευσης έχουμε τη χρήση των κραμάτων της σειράς 4XX00 με πιο συχνά χρησιμοποιούμενο το κράμα 42000 το οποίο είναι δυνατόν να παράγεται σε καλούπι μιας χρήσης από άμμο αλλά και σε μερικές περιπτώσεις έχουμε τη χρήση μόνιμων καλουπιών. Η διαδικασία παραγωγής τους έχει τα εξής βήματα: προηγείται η χύτευση και στερεοποίηση του τεμαχίου, ακολουθεί ο καθαρισμός και το φινίρισμα

της επιφάνειας και στη συνέχεια έχουμε τη θερμική επεξεργασία ακολουθούμενη από περαιτέρω μηχανική επεξεργασία για την επίτευξη των επιθυμητών διαστάσεων και λεπτομερειών.[33]



Εικόνα 33 – Βραχίονας ανάρτησης από χυτό κράμα 42000 (χύτευση σε μόνιμο καλούπι) [33]

Πλαίσιο – υποπλαίσια

Τα πλαίσια συνήθως αποτελείται από διάφορα υποπλαίσια τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία αυτού και σχεδιάζονται ώστε να εδράζουν διάφορα στοιχεία όπως ο κινητήρας ή οι διάφοροι άξονες και το σύστημα ανάρτησης. Ο σκοπός της χρήσης των υποπλαισίων σε ένα όχημα είναι η διανομή των υψηλών τοπικών φορτίων σε μια ευρύτερη περιοχή της δομής του αμαξώματος αλλά και η απομόνωση των κραδασμών από το υπόλοιπο αμάξωμα. Τα υποπλαίσια βιδώνονται ή συγκολλούνται με το αμάξωμα. Τα βιδωτά υποπλαίσια είναι μερικές φορές εξοπλισμένα με ελαστικούς δακτυλίους ή ελατήρια για τη μείωση του θορύβου και των κραδασμών. [34]

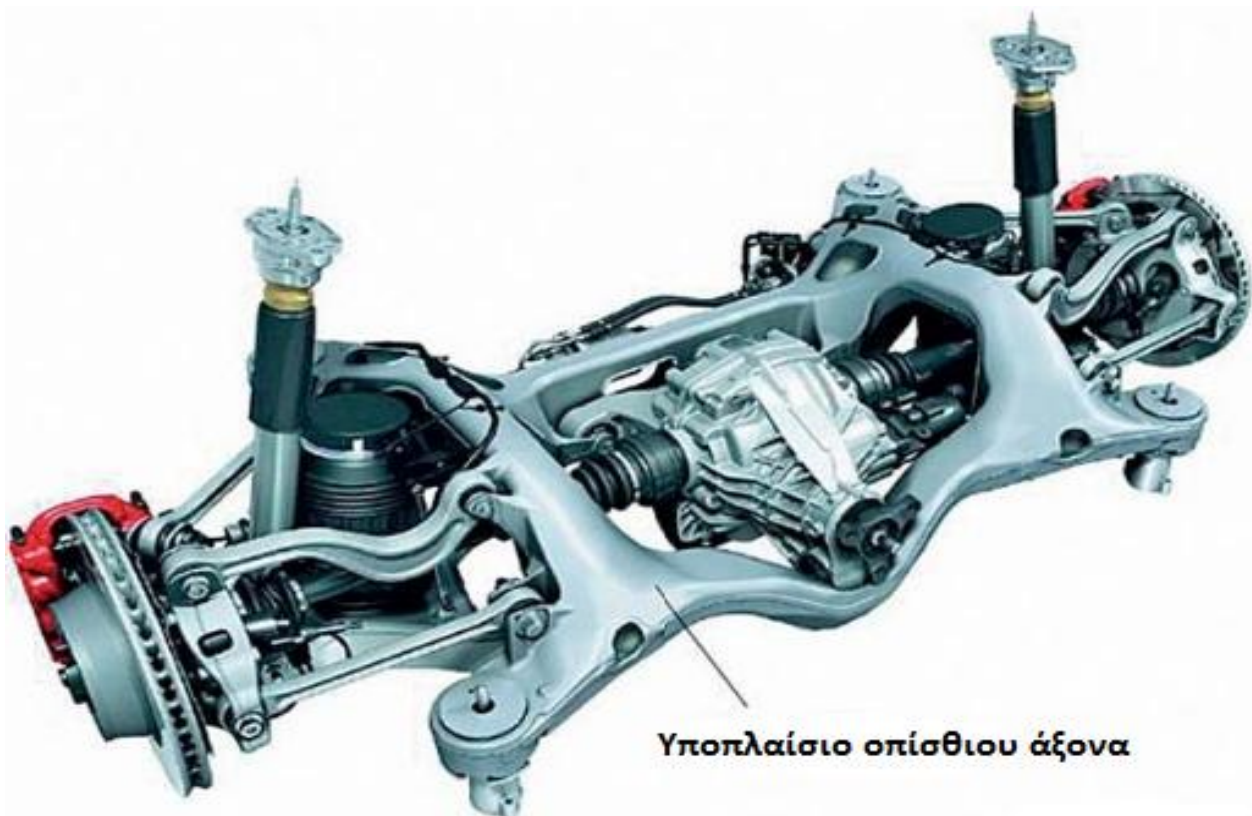
Ως φυσική εξέλιξη από ένα αυτοκίνητο με πλήρες πλαίσιο, η χρήση ξεχωριστών υποπλαισίων για το εμπρός και πίσω άξονα χρησιμοποιείται κατά κόρον στα σύγχρονα οχήματα με σκοπό τη μείωση του συνολικού βάρους αλλά και κόστους παραγωγής. Τα υποπλαίσια των αξόνων είναι δυνατόν να έχουν διάφορες μορφές και να πραγματοποιούν διάφορες λειτουργίες όπου έχουμε τα εξής [34]:

- Υποπλαίσια για τον οπίσθιο και εμπρόσθιο άξονα
- Περιμετρικά πλαίσια που φέρουν τόσο τον άξονα όσο και τον κινητήρα (πιθανόν να συμπεριλαμβάνουν τη μετάδοση και την ανάρτηση)

Τα απλά υποπλαίσια αξόνων φέρουν συνήθως τον άξονα, τους κάτω βραχίονες ελέγχου και στη περίπτωση του εμπρός άξονα, τη κρεμαγιέρα. Τα υποπλαίσια που υποστηρίζουν τον κινητήρα και πιθανόν και άλλα εξαρτήματα όπως η μετάδοση θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμα σε οχήματα με κίνηση στους εμπρός τροχούς. Τέτοιου είδους, πιο σύνθετα αλλά και πιο κοστοβόρα σχέδια, θα είχαν ως αποτέλεσμα καλύτερη απομόνωση από τις συνθήκες στο δρόμο και λιγότερους κραδασμούς αφού αυτά τα εξαρτήματα δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη κύρια δομή του αμαξώματος. Τα υποπλαίσια των αξόνων πρέπει να είναι σταθερά ώστε να εξασφαλίζουν άριστη επαφή του οχήματος με το οδόστρωμα αλλά συνάμα ελαφριά ώστε να εξασφαλίζουν υψηλή άνεση των επιβατών ανεξάρτητα από την ποιότητα του οδοστρώματος.[34]

Το υποπλαίσιο του οπίσθιου άξονα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, σε οχήματα με κίνηση στους πίσω τροχούς και όχι μόνο, συνεισφέροντας στα οδηγικά χαρακτηριστικά του οχήματος και στην άνεση που προσφέρει. Έτσι πρέπει να δημιουργηθεί ένα σχέδιο το οποίο θα πληροί τις απαιτήσεις για χαμηλό βάρος αλλά και υψηλή ακαμψία.[34]

Το οπίσθιο υποπλαίσιο μπορεί να κατασκευάζεται ως ενιαίο χυτό κομμάτι ή μπορεί να χρησιμοποιούνται κράματα τα οποία διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων όπως βαθεία κύλανση και εξώθηση ενώ σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να έχουμε συνδυασμό χυτών και μηχανικά διαμορφωμένων κομματιών τα οποία και συγκολλούνται μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης τύπου MIG.[34]



Εικόνα 34 – Τυπικό παράδειγμα υποπλαisiού οπίσθιου άξονα [34]

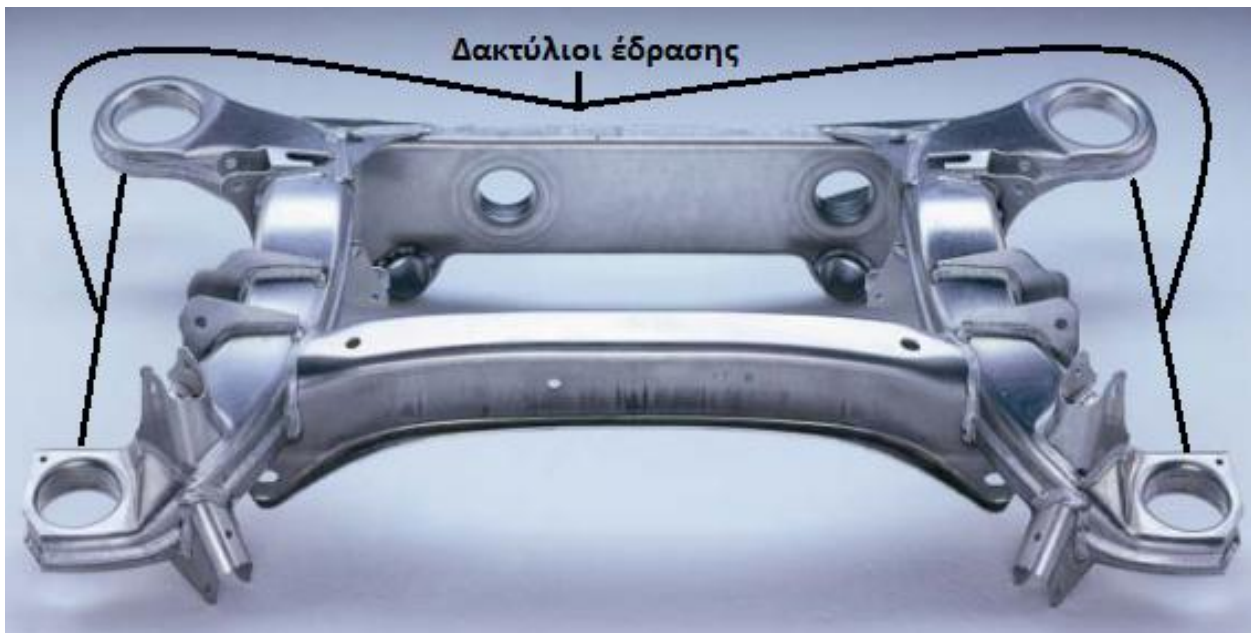
Στην περίπτωση των εξ' ολοκλήρου χυτών υποπλαisiών έχουμε τη χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης από άμμο με κύριο κράμα το 42000.[34] [Εικόνα 35]



Εικόνα 35 – Τυπικό παράδειγμα υποπλαisiού οπίσθιου άξονα από κράμα χύτευσης [34]

Στην περίπτωση των υποπλαισίων του οπίσθιου άξονα που παράγονται από κράματα τα οποία διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων έχουμε την χρήση κραμάτων της σειράς 5XXX και 6XXX με ευρύτερη τη χρήση των 5182, 5454, 5754 και 6060.[34]

Τα κράματα της σειράς 5XXX που χρησιμοποιούνται δεν επιδέχονται θερμικής κατεργασίας ενώ θεωρούνται κατάλληλα για αυτήν τη εφαρμογή λόγω της καλής δυνατότητας για διαμόρφωση, της υψηλής αντοχής τους αλλά και της καλής ικανότητας για συγκόλληση. Στη πλειοψηφία των περιπτώσεων τα επιμέρους τεμάχια διαμορφώνονται μέσω βαθείας κύλισης και στη συνέχεια συγκολλούνται μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης MIG. Κάποια τεμάχια, όπως οι δακτύλιοι έδρασης, κατασκευάζονται μέσω εξώθησης με τη χρήση κραμάτων της σειράς 6XXX(6060) και επιδέχονται θερμικής κατεργασίας τύπου T4 όπου και συγκολλούνται με τα υπόλοιπα τμήματα.[34] [Εικόνα 36]



Εικόνα 36 – Τυπικό παράδειγμα υποπλαισίου οπίσθιου άξονα από κράματα μηχανικής διαμόρφωσης [34]

Τέλος, είναι δυνατόν να έχουμε τον συνδυασμό χυτών κραμάτων και κραμάτων που διαμορφώνονται μέσω μηχανικών διαμορφώσεων. Σε αυτήν τη περίπτωση έχουμε τη χρήση χυτών κραμάτων της σειράς 4XX00, συνήθως 43000, 42200 και 42000, τα οποία χυτεύονται σε μόνιμα καλούπια ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε τη χρήση καλουπιών μιας χρήσης από άμμο με την θερμική επεξεργασία τύπου T5 και T6 να ακολουθεί. Τα κράματα που διαμορφώνονται μηχανικά είναι συνήθως αυτά της σειράς 6XXX με πιο συνηθισμένα τα 6005 και 6061 ενώ δέχονται θερμική κατεργασία τύπου T4 αλλά και T6 για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Τα κομμάτια που διαμορφώνονται μηχανικά παίρνουν την επιθυμητή

μορφή τους μέσω εξώθησης ή βαθείας κύλανσης ενώ έχουν μικρότερο πάχος από τα χυτά με τα οποία ενώνονται μέσω συγκόλλησης MIG.[34]



Εικόνα 37 – Υποπλαίσιο οπίσθιου άξονα με συνδυασμό χυτών και εξωθημένων κομματιών [34]

Το υποπλαίσιο του εμπρόσθιου άξονα στηρίζει τον κινητήρα, το σύστημα ανάρτησης και διεύθυνσης με τα διάφορα επιμέρους εξαρτήματα όπως βραχίονες ελέγχου, ράβδος στρέψης αλλά και το σύστημα της κρεμαγιέρας.[34] [Εικόνα 38]



Εικόνα 38 – Υποπλαίσιο εμπρόσθιου άξονα [34]

Συνήθως για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται κομμάτια που παράγονται μέσω βαθείας κύλισης ενώ κάποια εξαρτήματα μικρού μεγέθους παράγονται μέσω χύτευσης και ενσωματώνονται στη κατασκευή μέσω συγκόλλησης MIG. Τυπικό κράμα που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 5454 με πάχος που κυμαίνεται από 3 έως 5 mm ανάλογα με την περίπτωση και τα φορτία που δέχεται η κατασκευή.[34]

3. Διαμόρφωση και δομή των αμαξωμάτων

Ο κύριος λόγος για την χρήση κραμάτων του αλουμινίου στο αμάξωμα ενός οχήματος είναι η επίτευξη μείωσης της μάζας αυτού σε σύγκριση με μία συμβατική κατασκευή από χάλυβα. Πέρα όμως από την επικείμενη μείωση της μάζας η στιβαρότητα της κατασκευής και η αντοχή της στην επιβολή των διάφορων φορτίων πρέπει να είναι αντάξια ή και καλύτερη, αν είναι δυνατόν, από το αντίστοιχο χαλύβδινο αμάξωμα. Επίσης οι μέθοδοι με τις οποίες ενώνονται τα επιμέρους κομμάτια δεν είναι εξ' ολοκλήρου ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται κατά τη ένωση κομματιών από χάλυβα με αποτέλεσμα να απαιτείται η προσαρμογή διαφορετικών ή εναλλακτικών μεθόδων για την ένωση αυτών.[35]

3.1. Σύγκριση ιδιοτήτων αλουμινίου και χάλυβα

Στις περισσότερες κατασκευές όπου έχουμε χρήση αλουμινίου αυτό συνδυάζεται με ένα ποσοστό χάλυβα ενώ υπάρχουν και κάποιες λιγιστές εφαρμογές όπου γίνεται εξ' ολοκλήρου χρήση του αλουμινίου. Κατά το συνδυασμό διαφορετικών υλικών εμφανίζονται κάποια θέματα τα οποία χρήζουν σοβαρότητας όπως [35]:

- ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αλουμινίου και του χάλυβα δεν είναι ίδιος το οποίο σημαίνει ότι σε οποιαδήποτε αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών λόγω συγκόλλησης ή κατά την βαφή του αμαξώματος θα έχουμε διαφορετική αύξηση των διαστάσεων αυτών.
- κατά την ένωση διαφορετικών υλικών είναι πιθανό να έχουμε την εμφάνιση γαλβανικής (διμεταλλική) διάβρωσης με αποτέλεσμα να απαιτείται η επικάλυψη των επιφανειών με ειδικές στρώσεις για την αποφυγή του φαινομένου. Συνήθως η ένωση τους πραγματοποιείται με τη χρήση κόλλας η οποία αποτρέπει το παραπάνω φαινόμενο αλλά σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η γαλβανική διάβρωση εμφανίζεται σε συνθήκες υψηλής υγρασίας αλλά και κατά τη επαφή με υγρά όπως το νερό το οποίο δρα ως ηλεκτρολύτης.

Ο χάλυβας, ως υλικό, παρουσιάζει κάποιες σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με το αλουμίνιο οι οποίες αναφέρονται ως εξής [36]:

- 1) Η πυκνότητα του χάλυβα κυμαίνεται περίπου στα 8 gr/cm^3 σε αντίθεση με το αλουμίνιο που έχει περίπου 2,7. Η παραπάνω τιμή εξαρτάται φυσικά και από τα κράματα που παράγονται όπου τα κραματικά στοιχεία που προστίθενται επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό τη τιμή της πυκνότητας.

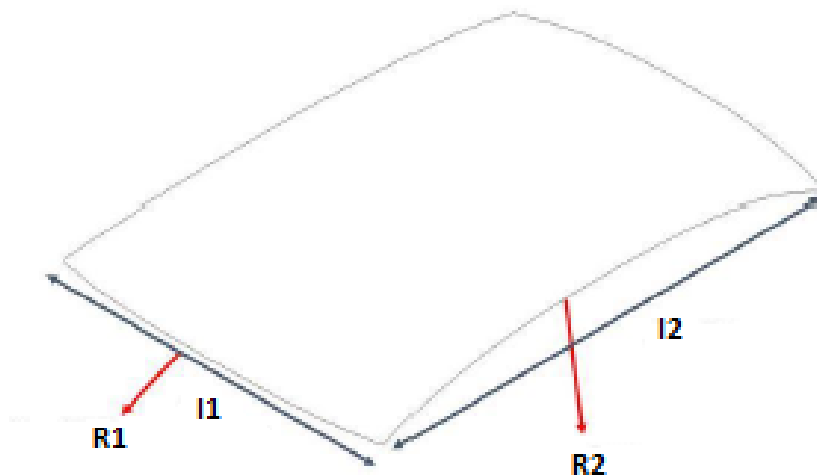
- 2) Το σημείο τήξης του χάλυβα είναι κατά μέσο όρο στους 1500 C^ο ενώ αυτό του αλουμινίου αγγίζει τους 660 C^ο ενώ μειώνεται μέχρι και τους 500 C^ο ανάλογα με το παραγόμενο κράμα. Επίσης το σημείο τήξης του χάλυβα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τι περιεχόμενη ποσότητα άνθρακα.
- 3) Η αντοχή εφελκυσμού του χάλυβα ξεκινά από τα 300 N/mm² και αγγίζει ακόμα και τα 1400 N/mm² ενώ αντίστοιχα το αλουμίνιο ανάλογα με το παραγόμενο κράμα έχει ελάχιστη τιμή τα 100 N/mm² και φτάνει τα 600 N/mm².
- 4) Το αλουμίνιο έχει ελάχιστη μαγνητική ικανότητα σε αντίθεση με τον χάλυβα που έχει εξαιρετική και την διατηρεί για μεγάλη χρονική περίοδο.
- 5) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου αγγίζει το 64 % κατά το πρότυπο IACS ενώ η αντίστοιχη του χάλυβα είναι σχεδόν 6 φορές μικρότερη.
- 6) Η θερμική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου είναι της τάξης των 245 W/(m*K) εντός του εύρους θερμοκρασίας 0-100 C^ο ενώ όσον αφορά τους χάλυβες αυτή η τιμή μετατοπίζεται κατά πολύ προς τα κάτω με μέση τιμή αυτή των 30 W/(m*K).
- 7) Όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας των δύο υλικών ο χάλυβας έχει 210000 N/mm² ενώ η αντίστοιχη τιμή στο αλουμίνιο είναι 3 φορές μικρότερη. Το μέτρο ελαστικότητας αντιπροσωπεύει ουσιαστικά τη στιβαρότητα ελαστικών υλικών αλλά και τις ελαστικές ιδιότητες αυτών κατά τη θλίψη ή τον εφελκυσμό τους.
- 8) Η αντοχή στη διάβρωση είναι ένα σημαντικό προσόν του αλουμινίου έναντι του χάλυβα ο οποίος μειονεκτεί σε αυτήν την σημαντική ιδιότητα και απαιτείται η επικάλυψη του με στρώματα άλλων υλικών για την αποφυγή του φαινομένου αυτού. Η αντοχή του αλουμινίου στη διάβρωση ευθύνεται στο στρώμα οξειδίου που δημιουργείται στην εξωτερική του επιφάνεια κατά την έκθεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και λειτουργεί ως ασπίδα προστασίας ενώ όσον αφορά τον χάλυβα αυτός συνδυάζεται με το χρώμιο υπό την μορφή κραμάτων ή ως στρώμα επικάλυψης και προλαμβάνει τη διάβρωση αυτού μέσω της δημιουργίας, όπως και στη περίπτωση του αλουμινίου, ενός στρώματος οξειδίου.

Ο χάλυβας, ως υλικό, έχει υψηλότερη αντοχή από το αλουμίνιο και τα κράματα του. Αυτό όμως από μόνο του δεν αρκεί για να υπερκαλύψει τις απαιτήσεις των αμαξωμάτων στα σύγχρονα οχήματα αφού το αλουμίνιο υπερτερεί ως προς τη πυκνότητα αλλά και τη στιβαρότητα που παρουσιάζει κατά τη χρήση του. Πλέον, μέσω των σύγχρονων μεθόδων για την παραγωγή και μετέπειτα επεξεργασία των κραμάτων του αλουμινίου επιτρέπει σε αυτά να αγγίζουν τιμές

αντοχής ισάξιες ακόμα και χαλύβων υψηλής αντοχής με πυκνότητα που πλησιάζει σε τιμή αυτή του καθαρού αλουμινίου.[35]

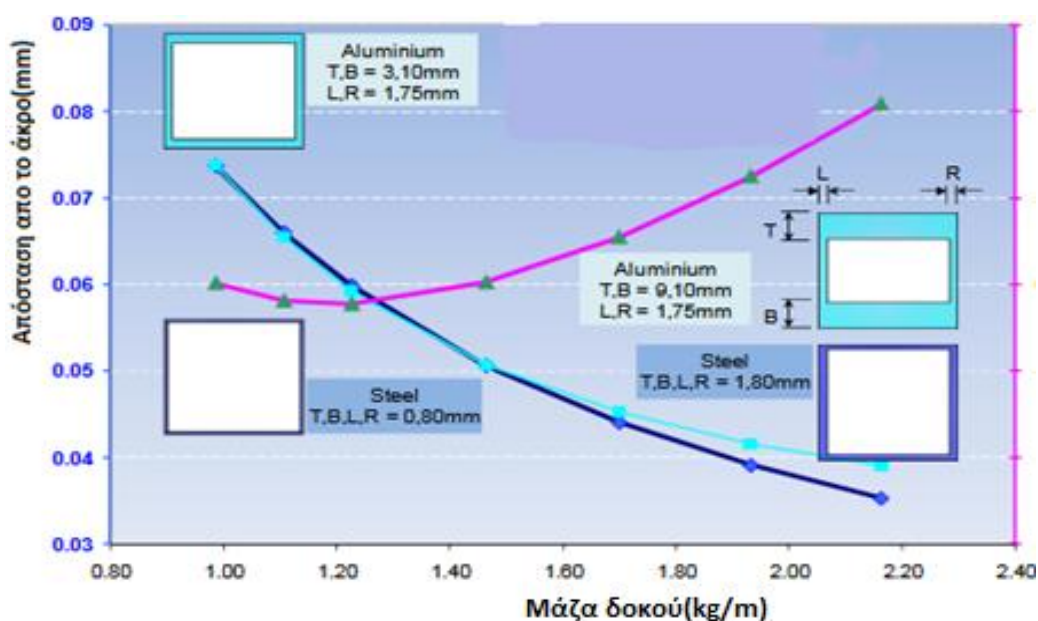
Κατά την μετάβαση από τον χάλυβα προς τη χρήση αλουμινίου κομμάτια όπως φύλλα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή του αμαξώματος πρέπει να διαστασιολογηθούν με βάση έναν παράγοντα ο οποίος ορίζεται περίπου ως 1,4 και προκύπτει από τον τύπο $\sqrt[3]{(E_{\chi\alpha\lambda}/E_{\alpha\lambda})}$ με αποτέλεσμα να έχουμε εξοικονόμηση μάζας της τάξης του 50%. Ο παραπάνω λόγος προκύπτει από την παρακάτω ανάλυση[37]:

Εφόσον κατά την αντικατάσταση φύλλου χάλυβα από αντίστοιχο χαλύβδινο το βέλος κάμψης πρέπει να παραμένει ίδιο πρέπει ισχύει η εξίσωση $(M \cdot I^2)/(8 \cdot E_{\chi\alpha\lambda} \cdot I_{\chi\alpha\lambda}) = (M \cdot I^2)/(8 \cdot E_{\alpha\lambda} \cdot I_{\alpha\lambda})$ όπου $\delta = (M \cdot I^2)/(8 \cdot E \cdot I)$ είναι το βέλος κάμψης και I είναι η ροπή αδράνειας η οποία ισούται με $I = (b \cdot t^3)/12$. Έτσι με ανάλυση της εξίσωσης καταλήγουμε στην εξίσωση $E_{\chi\alpha\lambda} \cdot I_{\chi\alpha\lambda} = E_{\alpha\lambda} \cdot I_{\alpha\lambda} \Rightarrow E_{\chi\alpha\lambda} \cdot (b \cdot t_{\chi\alpha\lambda}^3)/12 = E_{\alpha\lambda} \cdot (b \cdot t_{\alpha\lambda}^3)/12 \Rightarrow E_{\chi\alpha\lambda} \cdot t_{\chi\alpha\lambda}^3 = E_{\alpha\lambda} \cdot t_{\alpha\lambda}^3 \Rightarrow E_{\chi\alpha\lambda}/E_{\alpha\lambda} = t_{\alpha\lambda}^3/t_{\chi\alpha\lambda}^3 = (t_{\alpha\lambda}/t_{\chi\alpha\lambda})^3 \Rightarrow \sqrt[3]{(E_{\chi\alpha\lambda}/E_{\alpha\lambda})} = t_{\alpha\lambda}/t_{\chi\alpha\lambda}$. Αν υποθέσουμε ότι $E_{\chi\alpha\lambda}=210000 \text{ N/mm}^2$ και $E_{\alpha\lambda}=70000 \text{ N/mm}^2$ ο λόγος $t_{\alpha\lambda}/t_{\chi\alpha\lambda}$ θα ισούται με $t_{\alpha\lambda}/t_{\chi\alpha\lambda} = \sqrt[3]{(210000/70000)} = 1,44$. Η εξοικονόμηση μάζας προκύπτει ως εξής: $m_{\alpha\lambda}/m_{\chi\alpha\lambda}=1,44 \cdot (\rho_{\alpha\lambda}/\rho_{\chi\alpha\lambda})=1,44 \cdot (2,7/7,8)=0,5$. Επίσης η καμπτική στιβαρότητα ενός τέτοιου φύλλου μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης $K = (B/R_{eq}) \cdot ((E \cdot t^2)/(\sqrt{1-u^2}))$ όπου B είναι σταθερά που ισούται με 2,309, R η ακτίνα καμπυλότητας, t το πάχος του φύλλου και u η σταθερά Poisson. Σύμφωνα με την **εικόνα 39**, όπου παρουσιάζεται η οροφή ενός οχήματος, η ακτίνα καμπυλότητας υπολογίζεται ως εξής: $R_{eq} = (2 \cdot I_1 \cdot I_2)/((I_1^2/R_1) + (I_2^2/R_2))$.



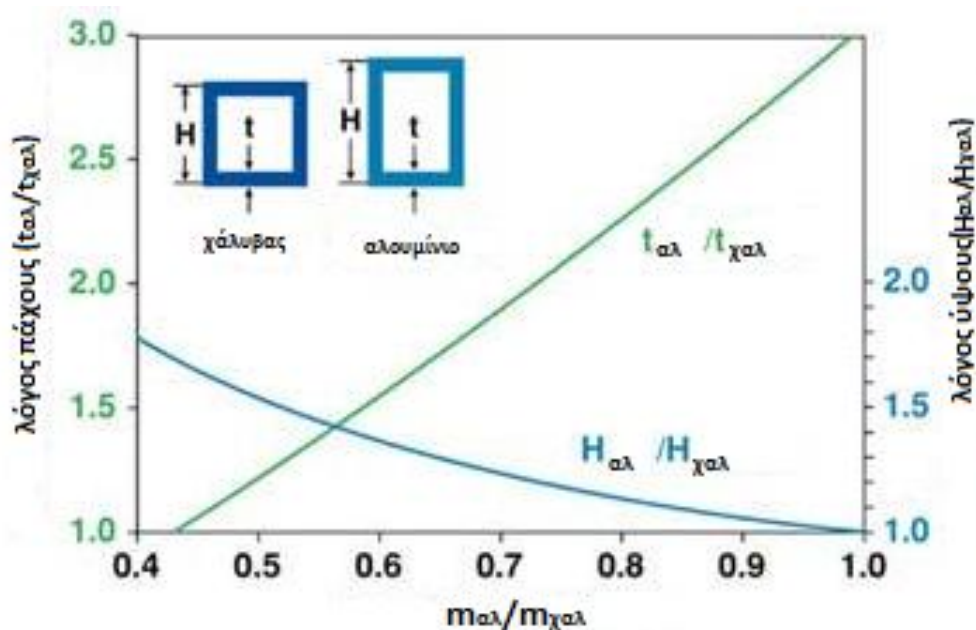
Εικόνα 39 – Ορισμός διαστάσεων φύλλου στην οροφή οχήματος [37]

Όσον αφορά δοκούς κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής δεν ισχύει το ίδιο αλλά έχουμε τον τριπλασιασμό του πάχους τους με αποτέλεσμα να προκύπτει το ίδιο αποτέλεσμα με την αντίστοιχη περίπτωση χρήσης χάλυβα. Λόγω των πολλαπλών δυνατοτήτων όμως για τη διαμόρφωση της γεωμετρίας των τεμαχίων από αλουμίνιο, μέσω εξώθησης ή και χύτευσης, προσφέρει μερικές φορές την δυνατότητα για εξοικονόμηση, αν και μικρής, μάζας. Στην **εικόνα 40** παρατηρούμε την εναλλαγή στο πάχος των τοιχωμάτων δύο δοκών στις οποίες έχουμε όλο και μικρότερο πάχος των τοιχωμάτων όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο πάκτωσης με αποτέλεσμα την μερική εξοικονόμηση μάζας αλλά και εναλλαγή στο πάχος των οριζόντιων και κάθετων τοιχωμάτων της διατομής αυτής ανάλογα με τα φορτία που δέχονται.[35]



Εικόνα 40 – Εναλλαγή στο πάχος τοιχωμάτων δοκού από αλουμίνιο και χάλυβα [35]

Εάν δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τις εξωτερικές διαστάσεις της δοκού είναι δυνατόν να αυξηθούν οι εξωτερικές διαστάσεις της με το πάχος των τοιχωμάτων να μένει ίδιο επιτυγχάνοντας έτσι μείωση της μάζας έως και 50% σε σύγκριση με αντίστοιχη χαλύβδινη των ίδιων προδιαγραφών ως προς την ακαμψία τους. Αυτό απεικονίζεται ευκρινέστερα στο διάγραμμα της **εικόνας 41** όπου η αύξηση στο πάχος των τοιχωμάτων αλουμινένιας δοκού έχει ανάλογη αύξηση στη μάζα της με σχεδόν γραμμικό τρόπο ενώ η διατήρηση του πάχους των τοιχωμάτων ίδιο αλλά με αύξηση του ύψους της διατομής της δοκού έχει μείωση της μάζας της αν είχαμε ανάλογη αύξηση σε αντίστοιχη χαλύβδινη δοκό με σχεδόν εκθετικό τρόπο το οποίο μετουσιώνεται σε εξοικονόμηση μάζας στη περίπτωση της αλουμινένιας δοκού.[33]



Εικόνα 41 – Επίδραση της εναλλαγής του ύψους και του πάχους των τοιχωμάτων σε αλουμινένια και χαλύβδινη δοκό [35]

Γενικά για αλουμινένια δοκό, ανάλογα με τη μορφή, τον τύπο του κομματιού και την χρήση για την οποία προορίζεται, ισχύουν τα εξής [35]:

- 1) Για μια κλειστή δοκό με λεπτό σχετικά τοίχωμα (κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής) και με περιορισμένες τις εξωτερικές διαστάσεις (ορισμένες εξ αρχής), όπου η στιβαρότητα (καμπτική και στρεπτική) είναι κρίσιμος παράγοντας, δεν μπορεί να επιτευχθεί μείωση της μάζας σε σύγκριση με αντίστοιχη χαλύβδινη. Αυτό σημαίνει ότι αν δεν είναι δυνατή η μεταβολή των διαστάσεων προς τα έξω αλλά μόνο προς το εσωτερικό της διατομής τότε η μείωση της μάζας είναι πρακτικά αδύνατη.
- 2) Σε συμπαγείς δοκούς ή διάφορα προφίλ υπό φορτίο στρέψης και με περιορισμένες τις εξωτερικές διαστάσεις μπορεί να επιτευχθεί περίπου έως και 40% της μάζας σε σχέση με αντίστοιχο χαλύβδινο.
- 3) Για μια κλειστή δοκό με λεπτό σχετικά τοίχωμα (κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής) υπό φορτίο κάμψης ή στρέψης με τις εξωτερικές διαστάσεις να μπορούν να μεταβληθούν μπορεί να επιτευχθεί μείωση της μάζας έως και 50%.
- 4) Όταν η αντοχή σε παραμόρφωση από λυγισμό είναι το βασικό κριτήριο σχεδίασης τότε ακολουθείται αύξηση των τοιχωμάτων κατά 44% παραπάνω από την αντίστοιχη χαλύβδινη ώστε να επιτευχθεί αντίστοιχη αντοχή ενώ έχουμε μείωση της μάζας της τάξης του 50%.

3.2. Είδη αμαξωμάτων και σχεδιασμός αυτών

Στις μέρες μας τα οχήματα αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από αυτοφερόμενο αμάξωμα το οποίο σημαίνει ότι αμάξωμα και πλαίσιο είναι ένα κομμάτι. Επίσης σε όλες σχεδόν τις κατασκευές υπάρχει ανάμειξη υλικών, συνήθως αλουμίνιο με χάλυβα, αλλά έχουμε και μερικές περιπτώσεις όπου γίνεται εξ' ολοκλήρου χρήση του αλουμινίου. Σε παλαιότερες κυρίως κατασκευές είχαμε τη χρήση αποκλειστικά και μόνο χάλυβα όπου η κατασκευή τέτοιων πλαισίων ήταν ευκολότερη μεν στη κατασκευή αλλά υστερούσε σε συνολική μάζα.

Κύριος στόχος των κατασκευαστών είναι να δημιουργηθούν εύκολα διαμορφώσιμα σχέδια τα οποία κατασκευάζονται με σχετική ευκολία και είναι οικονομικά. Επίσης επιζητείται η μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο του αριθμού των επιμέρους κομματιών προς όφελος της οικονομίας ενώ η προσεκτική επιλογή των μεθόδων ένωσης των επιμέρους κομματιών για τη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος-αμαξώματος παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στον οικονομικό παράγοντα και φυσικά παρέχει κατασκευαστικά πλεονεκτήματα.[35]

Τα κυριότερα κριτήρια κατά την διαμόρφωση ενός αμαξώματος είναι η αντοχή, η στιβαρότητα και η αντοχή σε κόπωση, με την στιβαρότητα να αποτελεί το σημαντικότερο αφού υψηλή στιβαρότητα επιτυγχάνεται δύσκολα λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου.[35]

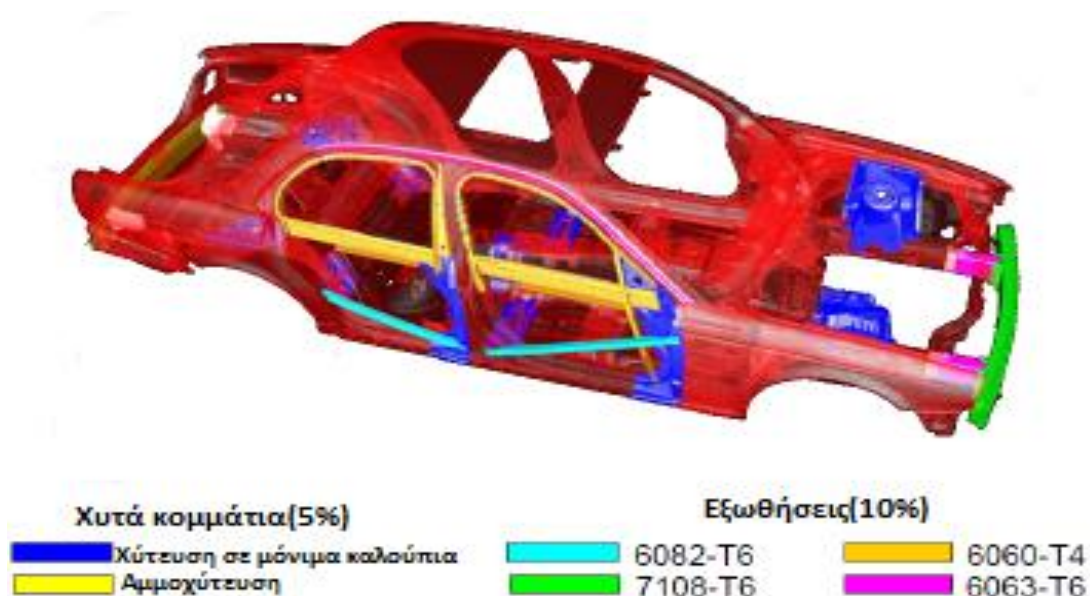
Τα κύρια μέρη ενός αμαξώματος χωρίζονται σε δύο βασικά είδη, τα τεμάχια που φέρουν φορτίο συνήθως υπό τη μορφή προφίλ και φύλλα αλουμινίου που χρησιμεύουν για την ενίσχυση των προηγούμενων. Τα τεμάχια με μορφή προφίλ αποτελούν τη βάση του αμαξώματος και κατασκευάζονται με προϋποθέσεις υψηλής αντοχής σε στρεπτική και καμπτική καταπόνηση ενώ τα φύλλα αλουμινίου που χρησιμεύουν για την ενίσχυση τους διαμορφώνουν τη τελική μορφή του αμαξώματος.[38]

Υπάρχουν 2 βασικά είδη αμαξωμάτων, αυτά με χωροδικτύωμα (space frame) των οποίων η χρήση είναι και η πιο διαδεδομένη και τα συμβατικά.[38]

3.2.1 Συμβατικά αμαξώματα αλουμινίου

Ως συμβατικά αμαξώματα ορίζονται αυτά των οποίων η δομή ουσιαστικά αντικαθιστά αντίστοιχη χαλύβδινη με νέα αλουμινένια με κάποιες αλλαγές να ακολουθούν στη διαμόρφωση των επιμέρους τεμαχίων ως προς τις διαστάσεις στη διατομή αυτών. Ένα συμβατικό αμάξωμα αποτελείται κυρίως από χυτά κομμάτια, κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης και

λαμαρινοτεμάχια τα οποία παράγονται με τη χρήση πρέσας και στη συνέχεια προσαρμόζονται στο υπόλοιπο αμάξωμα. Τα επιμέρους κομμάτια ενώνονται μέσω της χρήσης αυτό-διάτρητων ήλων, κόλλας (εποξειδικής ρητίνης) και ηλεκτροσυγκόλλησης MIG. Για την παραγωγή των λαμαρινοτεμαχίων χρησιμοποιούνται συνήθως κράματα της σειράς 6XXX για κομμάτια που χρησιμοποιούνται στην εξωτερική επιφάνεια του αμαξώματος και αυτά της σειράς 5XXX για τεμάχια ιδιαίτερης σημασίας τα οποία συμμετέχουν στη διαμόρφωση της συνολικής στιβαρότητας του αμαξώματος. Στην **εικόνα 42** βλέπουμε ένα συμβατικό αμάξωμα κατασκευασμένο από αλουμίνιο όπου κυριαρχούν τα τεμάχια που διαμορφώνονται μέσω πρέσας τα οποία διακρίνονται με κόκκινο χρώμα ενώ ακολουθεί η χρήση χυτών και κομματιών που παράγονται μέσω εξώθησης.[38]



Εικόνα 42 – Συμβατικό αμάξωμα αλουμινίου[38]

Τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από το κράμα 6082 το οποίο υφίσταται θερμική κατεργασία τύπου T6. Η χρήση των κομματιών αυτών επικεντρώνεται κυρίως σε σημεία όπως τμήματα που παρεμβάλλονται μεταξύ του βασικού σώματος του πλαισίου και της ζώνης σύγκρουσης αλλά και μεγαλύτερα τμήματα όπως η περιοχή άνω των θυρών ξεκινώντας από την πρώτη κολώνα και καταλήγοντας στη τελευταία με το πάχος στη δεύτερη περίπτωση να κυμαίνεται μεταξύ 8 και 10 mm.[38]

Για την εξωτερική επιφάνεια του αμαξώματος χρησιμοποιείται κυρίως το κράμα 6111 και 6014 το οποίο διαμορφώνεται με τη χρήση πρέσας όπου σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατό να έχουμε τη κατασκευή ενιαίων κομματιών για την κάθε πλευρά του αμαξώματος με κύριο σκοπό την εξοικονόμηση των επιμέρους κομματιών το οποίο με τη σειρά του λόγω του μικρότερου

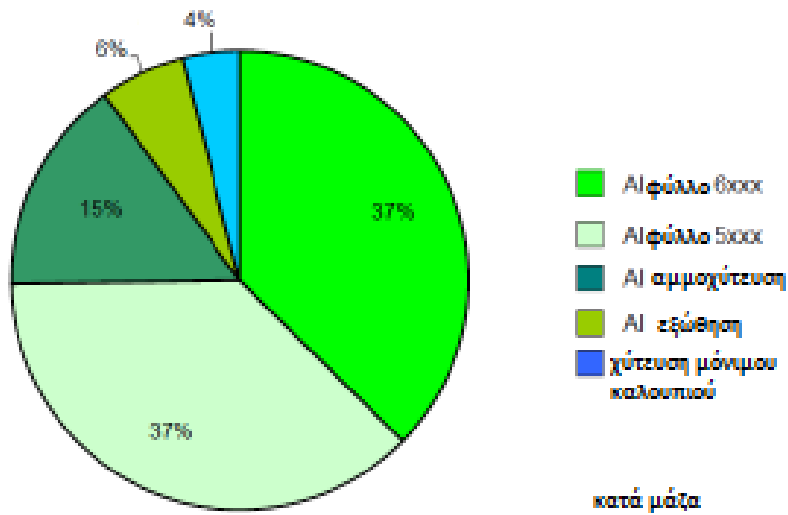
αριθμού ενώσεων μεταξύ αυτών έχει ως αποτέλεσμα τη μερική εξοικονόμηση βάρους.[38]
[Εικόνα 43]



Εικόνα 43 – Ενιαία πλαϊνή πλευρά αμαξώματος[38]

Τα χυτά κομμάτια που χρησιμοποιούνται στη δομή του αμαξώματος τοποθετούνται σε σημεία κλειδιά και αναφέρονται συνήθως σε εξαρτήματα της κατασκευής με σύνθετη κυρίως γεωμετρία και με κύριο στόχο την αύξηση της στιβαρότητας σε περιοχές οι οποίες δέχονται υψηλά φορτία. Τα χυτά κομμάτια χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή βάσεων σε περιοχές όπου έχουμε την στήριξη άλλων εξαρτημάτων όπως ο κινητήρας, η μετάδοση και το σύστημα ανάρτησης ώστε να έχουμε ικανοποιητική στιβαρότητα επί αυτών των σημείων αλλά και να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη μετάδοση κραδασμών και θορύβων από αυτά τα σημεία. Οι μέθοδοι χύτευσης αυτών των κομματιών είναι συνήθως η αμμοχύτευση και σε μερικές περιπτώσεις σε μόνιμα καλούπια.[38]

Στην **εικόνα 44** παρουσιάζεται η επιμέρους χρήση διαφορετικού τύπου υλικών, ως προς τον τρόπο παραγωγής, με τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης να λαμβάνουν το μικρότερο ποσοστό. Τα ποσοστά αυτά διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή αλλά κατά βάση είναι περίπου ίδια. Ανεξάρτητα από αυτό το γεγονός τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης είναι σημαντικά στη δομή του αμαξώματος με επαρκή στιβαρότητα.[38]



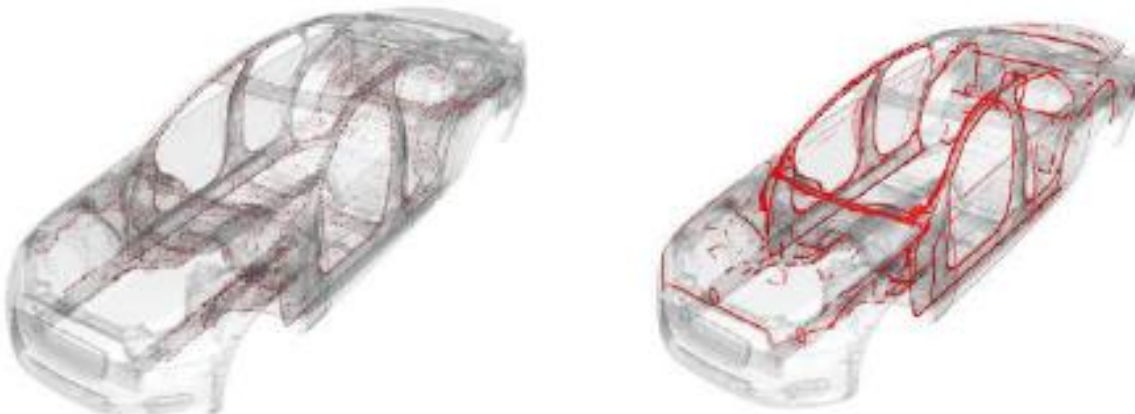
Εικόνα 44 – Αποτελούμενα μέρη αμαξώματος και ποσοστό ανά είδος[38]

Ως χυτά κατασκευάζονται σημαντικά δομικά στοιχεία του αμαξώματος με σημαντικότερο τις κολώνες αυτού οι οποίες χυτεύονται σε μόνιμα καλούπια με κύρια χρησιμοποιούμενα κράματα αυτά της σειράς 43X00. Στην **εικόνα 45** παρουσιάζεται ένα κοινό παράδειγμα με την διαδικασία χύτευσης και το τελικό προϊόν-κολώνα.[35]



Εικόνα 45 – Κολώνα αμαξώματος και η διαδικασία χύτευσης της[35]

Για τα κομμάτια που κατασκευάζονται μέσω εξώθησης χρησιμοποιείται κατά κανόνα η συγκόλληση τύπου MIG για την ένωση τους με το κύριο σώμα του αμαξώματος λόγω της εξαιρετικής σύνδεσης που επιτυγχάνεται απαραίτητη για την μακροχρόνια αντοχή υπό την επιβολή των φορτίων που δέχεται η κατασκευή ενώ για τα λαμαρινοτεμάχια χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η ένωση μέσω κόλλας αλλά και οι ήλοι, σε μερικές περιπτώσεις συνδυαστικά.[38] [Εικόνα 46]



Εικόνα 46 – Ένωση με χρήση α) ήλων (αριστερά), β) κόλλας (δεξιά)[38]

Τέλος, εξωτερικά κομμάτια του αμαξώματος που αποτελούνται από λαμαρινοτεμάχια κατασκευάζονται από κράματα όπως το 6181 και 6451 τα οποία προσφέρουν εξαιρετική αντοχή και πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας λόγω της ανάγκης για βαφή του αμαξώματος ενώ έχουν εξαιρετική διαμορφωσιμότητα μέσω πρέσας.[38]

3.2.2 Αμαξώματα με χωροδικτύωμα (Space frame)

Το χωροδικτύωμα, ως τύπος αμαξώματος, είναι μια τεχνολογία η οποία προσαρμόζεται άριστα με τη χρήση αλουμινίου για τη κατασκευή του διότι εκμεταλλεύεται με σπουδαίο τρόπο όλα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του αλουμινίου στις διάφορες μορφές του ως εξωθήσεις, χυτά και λαμαρινοτεμάχια.[38]

Σε ένα χωροδικτύωμα τα στοιχεία χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τον ρόλο που επιτελούν και τη δομική τους σημασία[38]:

- 1) Προφίλ αλουμινίου που φέρουν φορτίο
- 2) Φύλλα αλουμινίου για την ενίσχυση του αμαξώματος
- 3) Και συνδετικά στοιχεία ή αλλιώς κόμβοι (χυτά κομμάτια)

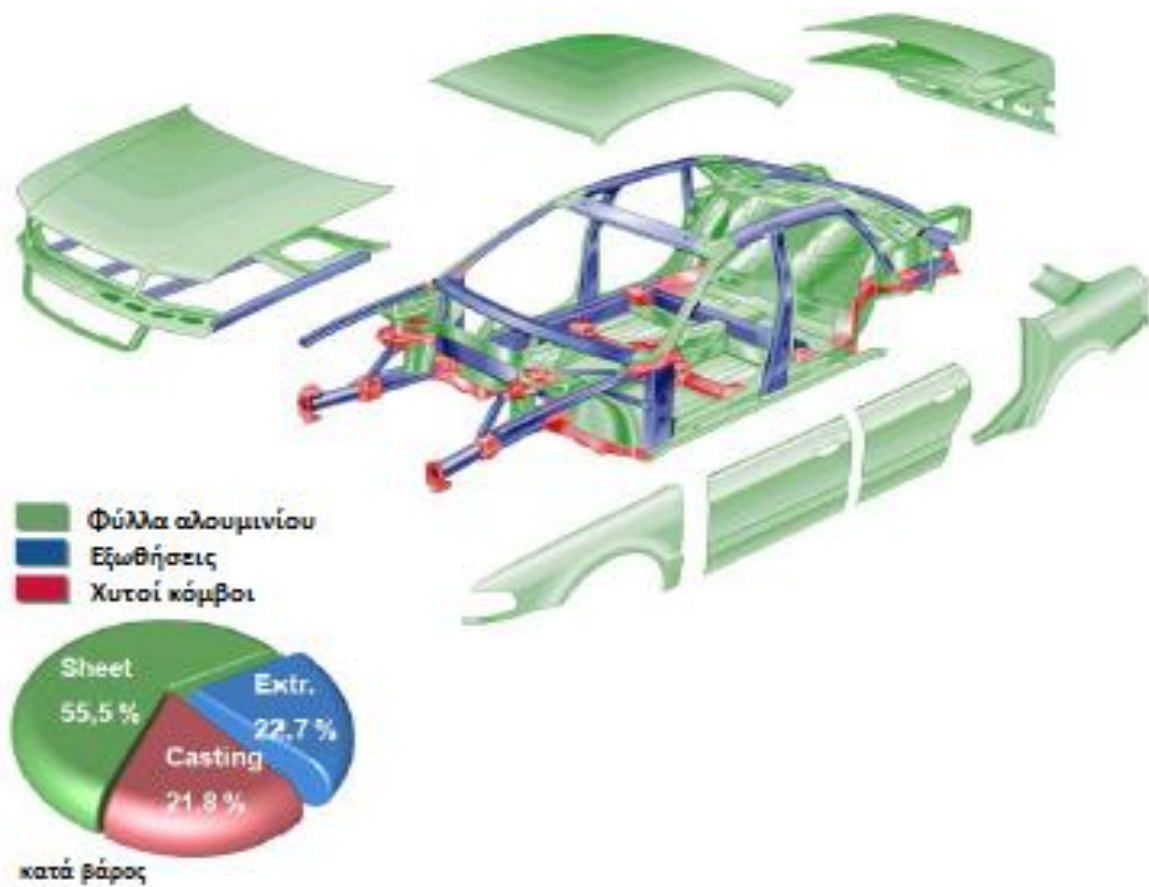
Σε ένα χωροδικτύωμα έχουμε την δημιουργία ενός στιβαρού πλαισίου υψηλής αντοχής στο οποίο ενσωματώνονται τα μεγαλύτερα κομμάτια υπό τη μορφή φύλλων αλουμινίου δημιουργώντας μια φέρουσα λειτουργία. Συγκεκριμένα, τα φύλλα αλουμινίου που τοποθετούνται μεταξύ των στοιχείων του πλαισίου, τα οποία αποτελούν τη βασική δομή του αμαξώματος, αποτελούν την αιτία αλλά και την προϋπόθεση για τη συνολική ακαμψία της δομής του αμαξώματος. Πλεονέκτημα αυτού του είδους πλαισίου είναι η υψηλή ευελιξία υπό την έννοια ότι είναι ουσιαστικά εύκολη η προσαρμογή αλλαγών και βελτιώσεων για τη μελλοντική χρήση σε νέα οχήματα.[38]



Εικόνα 47 – Τυπικό αμάξωμα χωροδικτυώματος[38]

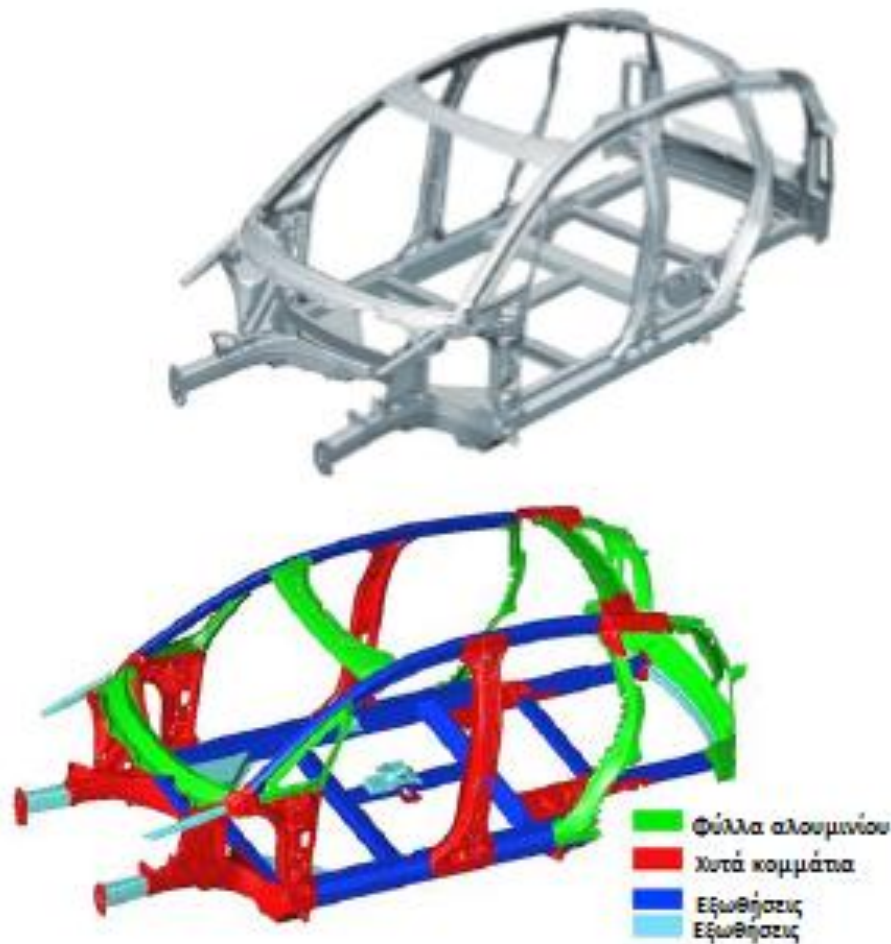
Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα πλαίσιο χωροδικτυώματος αποτελείται από έναν σκελετό ο οποίος αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης υπό τη μορφή κλειστής διατομής. Αυτά τα κομμάτια, υπό τη μορφή προφίλ, μπορεί να είναι καμπύλα αλλά είναι δυνατόν να είναι και ίσια ενώ, εάν είναι απαραίτητο, εφαρμόζονται κομμάτια

πολλαπλών οπών με συγκεκριμένες διατομές. Σε γωνίες που δέχονται υψηλά φορτία και γενικά άλλες αρθρώσεις, το πλαίσιο συνδέεται με σύνθετους λεπτότοιχους κόμβους αλουμινίου που παράγονται μέσω χύτευσης σε μόνιμα καλούπια. Ανάλογα με την εφαρμογή είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και μεγαλύτερα χυτά κομμάτια που επιτελούν περισσότερες από μια λειτουργίες. Τόσο η διαδικασία της εξώθησης όσο και η τεχνολογία χύτευσης σε μόνιμα καλούπια επιτρέπουν την παραγωγή εξαρτημάτων τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν κατάλληλα σε σχέση με το σχήμα και το εκάστοτε πάχος τοιχώματος για να ικανοποιήσουν τις τοπικά μεταβαλλόμενες συνθήκες φόρτωσης.[35]



Εικόνα 48 – Αμάξωμα χωροδικτυώματος με επιμέρους είδη υλικών[35]

Για τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης χρησιμοποιείται συνήθως το κράμα 6060, για τα φύλλα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται για το εξωτερικό του αμαξώματος το κράμα 6016 και για φύλλα δομικής σημασίας το 5182 ενώ σε χυτά κομμάτια γίνεται η χρήση του 35600. Παράλληλα η ένωση των χυτών κομματιών με το κυρίως αμάξωμα γίνεται με τη χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης τύπου MIG.[38]



Εικόνα 49 – Νεότερη κατασκευή σε αμάξωμα χωροδικτυώματος με επιμέρους είδη υλικών[38]

Με τη πάροδο του χρόνου, σε μια πιο σύγχρονη κατασκευή, έχουμε τη μείωση των κομματιών που παράγονται μέσω εξώθησης και την αντιστάθμιση αυτού του ποσοστού από φύλλα αλουμινίου με τα συνολικά κομμάτια να μειώνονται για λόγους εξοικονόμησης μάζας αφού για την ένωση τους απαιτείται επιπλέον υλικό ανεξάρτητα από την χρησιμοποιούμενη μέθοδο ένωσης τους. Το τελευταίο επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα αν υιοθετηθεί η παραγωγή μεγαλύτερων ενιαίων κομματιών κυρίως φύλλων από αλουμίνιο ή και χυτών. Στο αμάξωμα της **εικόνας 49** έχουμε την συνύπαρξη (κατά βάρος) φύλλων αλουμινίου κατά 60%, χυτών κομματιών κατά 22% και εξωθήσεων κατά 18% ενώ ως προς τον αριθμό των επιμέρους κομματιών οι ποσοστώσεις είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογες.[38]

Στο αμάξωμα της **εικόνας 50** η πλαϊνή πλευρά του αμαξώματος αποτελείται από ένα ενιαίο κομμάτι φύλλου αλουμινίου από το κράμα 6016 που παράγεται με τη χρήση πρέσας ενώ παρόμοια στρατηγική ακολουθείται και για την παραγωγή της μεσαίας κολώνας στο αναφερθέν

αμάξωμα (εικόνα 51) όπου αποτελείται από ενιαίο χυτό κομμάτι το οποίο δεν συνηθίζονταν σε παλαιότερες κατασκευές.[38]



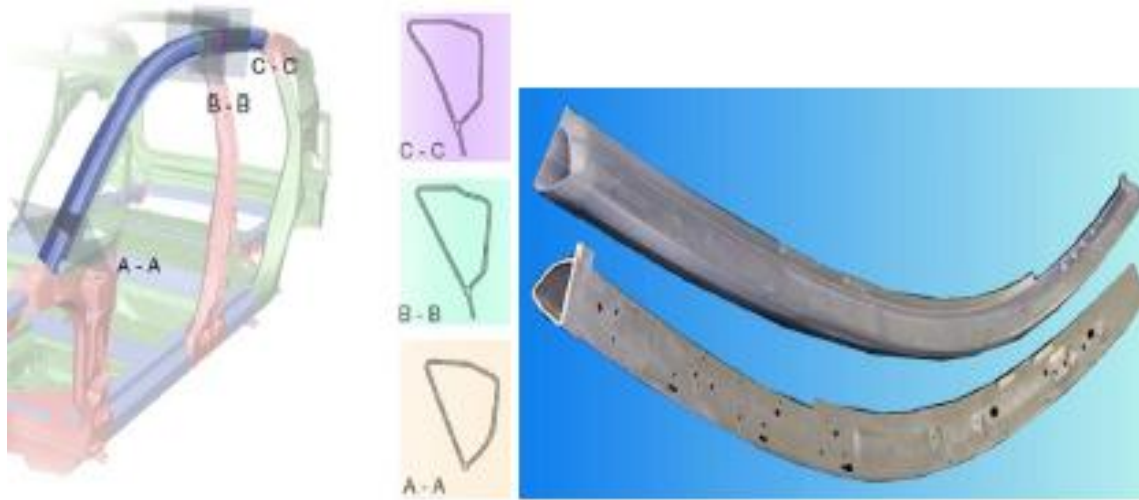
Εικόνα 50 – Πρόσθετα κομμάτια σε αμάξωμα χωροδικτυώματος[38]

Η ακριβής χύτευση σε μόνιμα καλούπια της μεσαίας κολώνας και γενικά όλων των χυτών τεμαχίων που παράγονται μέσω της ίδιας διαδικασίας εξασφαλίζει ότι αυτά θα ενωθούν με τα υπόλοιπα κομμάτια, είτε μιλάμε για φύλλα αλουμινίου είτε για εξωθήσεις, με επιτυχία μέσω της χρήσης ηλεκτροσυγκόλλησης τύπου MIG. Κράμα που χρησιμοποιείται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι το πλούσιο σε αντοχή 43100.[38]



Εικόνα 51 – Μεσαία κολώνα σε αμάξωμα χωροδικτυώματος[38]

Τα περισσότερα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης αποτελούν ευθύγραμμα και λυγισμένα προφίλ αλουμινίου τα οποία εξασφαλίζουν ικανοποιητικό εύρος ανοχών ενώ παράγονται από το υψηλής αντοχής κράμα 6014.[38]



Εικόνα 52 – Διατομές πλευρικού πλαισίου οροφής[38]

Στην **εικόνα 52** βλέπουμε τις επιμέρους διατομές σε πλευρικό πλαίσιο οροφής από αμάξωμα χωροδικτυώματος. Η διατομή αυτών αλλάζει ανάλογα με τα επιβαλλόμενα φορτία που δέχεται η κατασκευή ενώ τα κομμάτια, τα οποία παράγονται μέσω εξώθησης είναι δυνατόν να έχουν οπές η οποίες εξασφαλίζουν τη μείωση της μάζας σε περιοχές όπου προβλέπεται εφόσον τα φορτία που δέχεται στις συγκεκριμένες περιοχές το επιτρέπουν.[38]

Κατά την ένωση των επιμέρους κομματιών στο αμάξωμα χρησιμοποιούνται ήλοι με ένα μέσο αριθμό περί τους 1800 ενώ ευρεία είναι και η χρήση της ηλεκτροσυγκόλλησης MIG με αντίστοιχο αριθμό τα 20 μέτρα συνολικού μήκους κολλήσεων.[38]



Εικόνα 53 – Δομή πατώματος[38]

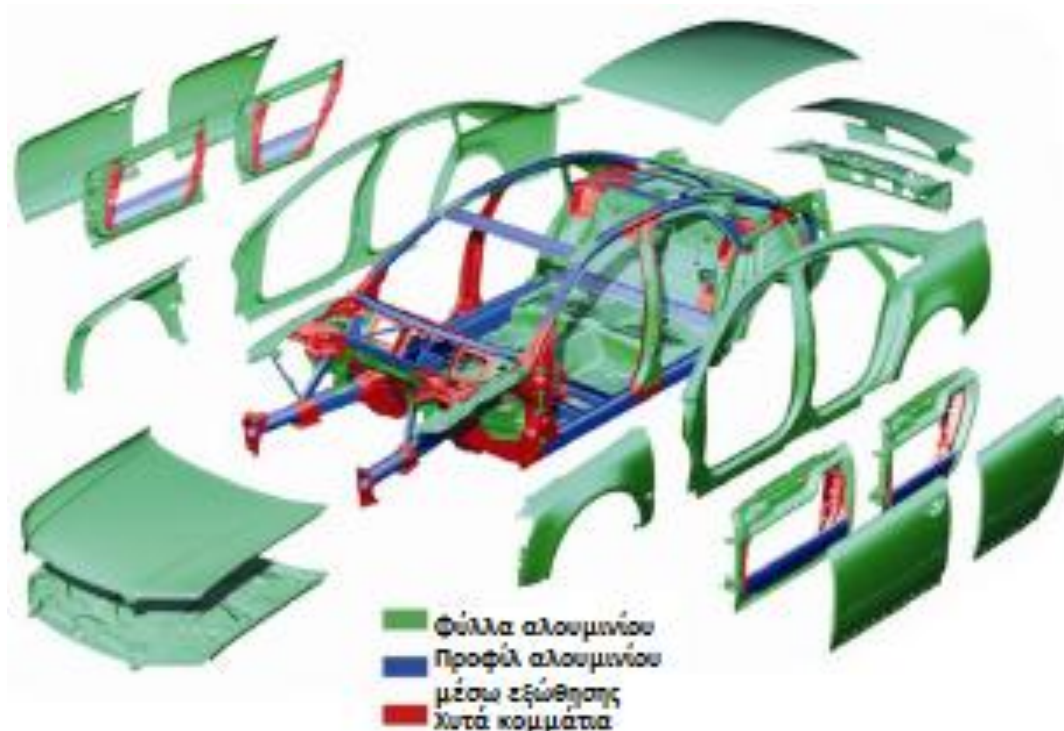
Στην **εικόνα 53** έχουμε τη παρουσίαση της δομής ενός πατώματος από αμάξωμα χωροδικτυώματος το οποίο αποτελείται από ευθύγραμμα προφίλ αλουμινίου που παράγονται μέσω εξώθησης και ενώνονται μεταξύ τους με τη χρήση της συγκόλλησης MIG εξαλείφοντας τους περισσότερους χυτούς κόμβους που συμπεριλαμβάνονταν σε παλαιότερης σχεδίασης κατασκευές.[38]



Εικόνα 54 – Αμάξωμα χωροδικτυώματος με επιμέρους τύπους υλικών[38]

Στην **εικόνα 54** προβάλλεται αμάξωμα νεότερης γενιάς το οποίο περιλαμβάνει χυτά κομμάτια μεγάλης επιφάνειας, προφίλ αλουμινίου μεγάλου μήκους για την αποφυγή περιττών ενώσεων σε περιπτώσεις μεγάλου αριθμού επιμέρους κομματιών ενώ συμπεριλαμβάνεται και ένα μεγάλο ποσοστό ευθύγραμμων τμημάτων που παράγονται μέσω εξώθησης. Τα καμπύλα προφίλ δίνουν το παρών αλλά σε μικρότερο ποσοστό και σε περιοχές όπου υπάρχει η ανάγκη υποστήριξης των φύλλων αλουμινίου που προσαρμόζονται στο εξωτερικό του αμαξώματος. Για τα τμήματα που παράγονται μέσω εξώθησης γίνεται χρήση του κράματος 6060 τα οποία και κάμπτονται σε ανάγκες δημιουργίας καμπύλων τεμαχίων ενώ για τα χυτά κομμάτια γίνεται ευρεία χρήση των κραμάτων 43100, με χύτευση σε μόνιμα καλούπια, και 42000 με χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης από άμμο.[38]

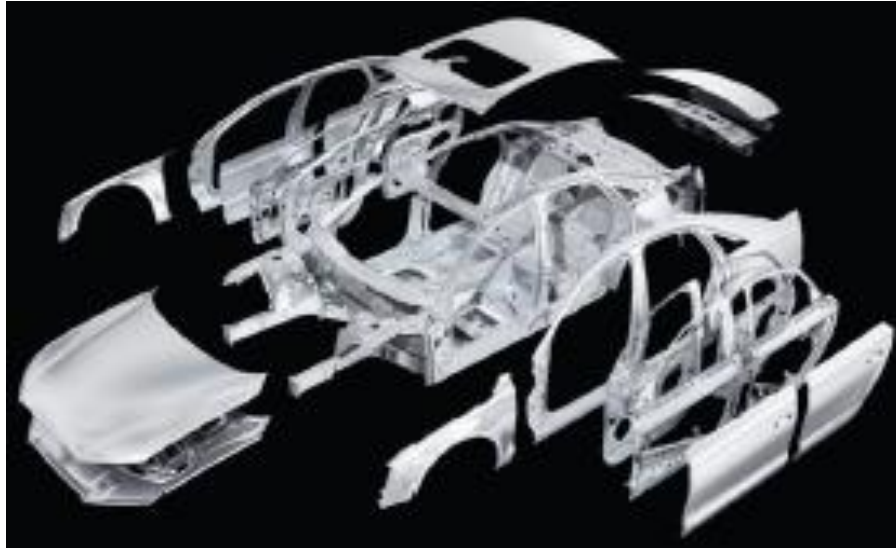
Για την σύνδεση των κομματιών που παράγονται μέσω εξώθησης με όμοια τους ή με χυτά κομμάτια και αντίστοιχα για τα χυτά κομμάτια μεταξύ τους ή με κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης γίνεται η χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης MIG αλλά με τη χρήση υλικού πλήρωσης για την αποφυγή του φαινομένου των ζεστών δακρύων το οποίο αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.[38]



Εικόνα 55 – Αμάξωμα χωροδικτυώματος με επιμέρους τύπους υλικών και προστιθέμενα κομμάτια[38]

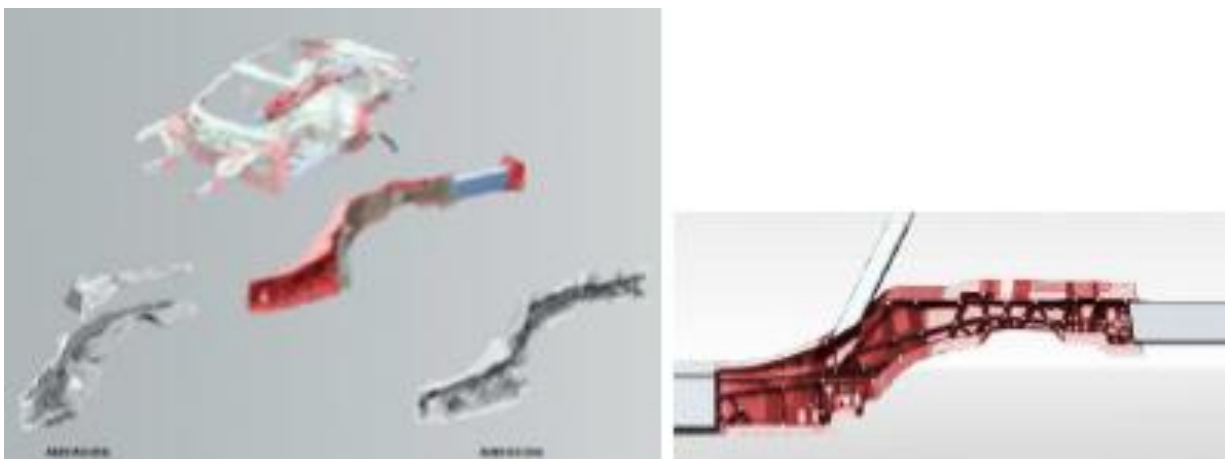
Στην **εικόνα 55** έχουμε τη παρουσίαση ενός αμαξώματος με χωροδικτύωμα με τα επιμέρους προστιθέμενα κομμάτια σχετικά νέας κατασκευής. Στο συγκεκριμένο αμάξωμα είναι εκτενής η χρήση ήλων για την ένωση σημείων δομικής σημασίας αλλά και τεμαχίων που δε φέρουν σημαντικά φορτία. Το πάχος των επιμέρους τεμαχίων κυμαίνεται σε ένα εύρος από 2 μέχρι και 6 mm ενώ σε συνδυασμό με τη χρήση ήλων έχουμε τη χρήση κόλλας σε δομικής σημασίας περιοχές του αμαξώματος με συνολικό μήκος κολλήσεων που αγγίζει τα 17 m.[38]

Σε σύγχρονα πλέον οχήματα έχουμε την δραματική μείωση των επιμέρους κομματιών στη σύνθεση ενός αμαξώματος χωροδικτυώματος ενώ τα κράματα που χρησιμοποιούνται είναι περισσότερα σε αριθμό ενώ παράλληλα έχουν αισθητά υψηλότερη αντοχή. Το αμάξωμα της **εικόνας 56** αποτελεί σύγχρονη κατασκευή η οποία αποτελείται από 144 επιμέρους λαμαρινοτεμάχια, 25 χυτά κομμάτια και 30 κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης. Να σημειωθεί επίσης ότι υπήρχε πρόοδος και στις μεθόδους ένωσης των επιμέρους κομματιών με τη χρήση ήλων και την ηλεκτροσυγκόλληση MIG να μειώνονται σε κάποιο βαθμό ενώ δόθηκε μεγαλύτερη σημασία στη χρήση κόλλας.[38]



Εικόνα 56 – Σύγχρονο αμάξωμα χωροδικτυώματος[38]

Όσον αφορά τα χυτά κομμάτια εφαρμόστηκε η χρήση ενιαίων κομματιών μεγάλου μήκους και γενικά διαστάσεων με κύριο παράδειγμα την οπίσθια διαμήκη δοκό του πλαισίου που παρουσιάζεται στην **εικόνα 55** η οποία χυτεύεται σε μόνιμα καλούπια υπό τη χρήση κραμάτων της σειράς 4XX00. Τα χυτά κομμάτια έχουν το πλεονέκτημα της ειδικής ανακατεύθυνσης των δυνάμεων και επιτρέπουν μια μικρή έως ελάχιστη μεταβολή των επιμέρους διαστάσεων, κυρίως το πάχος, των τοιχωμάτων σύμφωνα με τα συναντώμενα φορτία το οποίο με τη σειρά του δίνει τη δυνατότητα για ενσωμάτωση περιοχών μεγαλύτερης ακαμψίας μόνο στα σημεία που πραγματικά απαιτείται.[35] [Εικόνα 57]

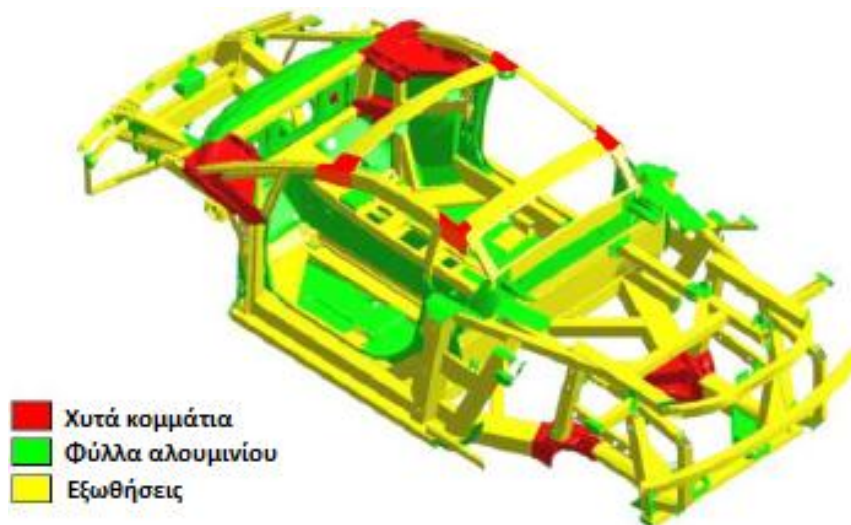


Εικόνα 57 – Οπίσθια διαμήκης δοκός από χυτό κράμα[38]



Εικόνα 58 – Αγωνιστικό όχημα με αμάξωμα χωροδικτύωματος[38]

Πέρα όμως από τα συνηθισμένα οχήματα μαζικής παραγωγής η χρήση του αλουμινίου δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από οχήματα μικρής παραγωγής αλλά και αγωνιστικά. Η διαφορά στη διαμόρφωση του αμαξώματος δε διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με τα οχήματα μαζικής παραγωγής ενώ αυτό που διαφέρει είναι η υπέρμετρη χρήση κομματιών που παράγονται μέσω εξώθησης. Σε μια τυπική αγωνιστική κατασκευή μικρής παραγωγής το ποσοστό ως προς τον αριθμό των επιμέρους κομματιών που αντιστοιχεί στη κάθε κατηγορία υλικών είναι η εξής: κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης περίπου 50%, φύλλα αλουμινίου 40% και χυτά κομμάτια 10%. Για τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης γίνεται ευρεία χρήση του κράματος 6060, για τα χυτά τα οποία και παράγονται σε καλούπια μιας χρήσης από άμμο ή μόνιμα καλούπια από αυτά της σειράς 42X00 ενώ για τα φύλλα αλουμινίου γίνεται χρήση των 6016 για εξωτερικά κομμάτια και 6181 για κομμάτια δομικής σημασίας.[38]



Εικόνα 59 – Αγωνιστικό όχημα με αμάξωμα χωροδικτύωματος[38]

Οι μέθοδοι ένωσης των επιμέρους τεμαχίων είναι πανομοιότυποι με τα συμβατικά οχήματα όπου έχουμε χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης MIG, ήλων και κόλλας. Η χρήση της ηλεκτροσυγκόλλησης MIG κατά κάποιο τρόπο επικρατεί ως προς το βαθμό χρήσης όπου στις περισσότερες εφαρμογές το συνολικό μήκος κολλήσεων ξεπερνά τα 100 m. Η χρήση κόλλας εφαρμόζεται κυρίως για την ένωση των φύλλων αλουμινίου τα οποία δεν φέρουν φορτία και γενικά δεν προσφέρουν πολλά στη στιβαρότητα της συνολικής κατασκευής ενώ σημαντική είναι και η χρήση ήλων οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε αρκετά μεγάλο ποσοστό.[38]



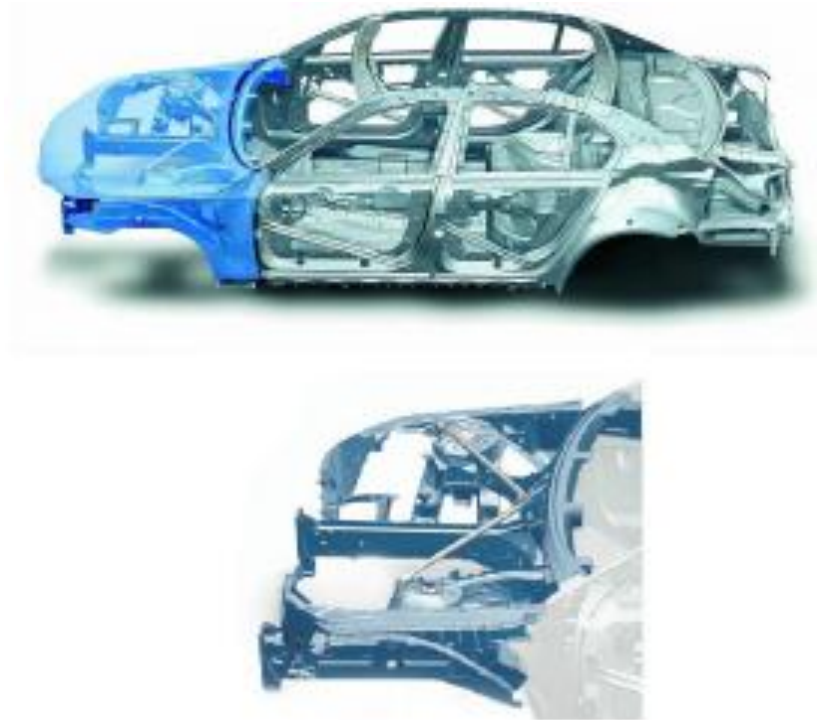
Εικόνα 60 – Ροή δυνάμεων κατά τη σύγκρουση[38]

Μεγάλη έμφαση δίνεται στη παραμόρφωση σε μια επικείμενη σύγκρουση όπου το μπροστινό και πίσω άκρο του αμαξώματος είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούν μεγάλες δυνάμεις κατά την παραμόρφωση μειώνοντας τη καταπόνηση που δέχονται οι επιβάτες σε σχέση με τη ζώνη σύγκρουσης. Επίσης η πρώτη κολώνα παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο όπου σε συνδυασμό με τον χυτό κόμβο που παρεμβάλλεται μεταξύ αυτής και της πλαϊνής δοκού της οροφής όπου συνεργάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούν αποτελεσματικά την ενέργεια που παράγεται κατά την σύγκρουση.[38]

3.2.3 Αμαξώματα με συνδυασμό υλικών

Σε ένα αμάξωμα με συνδυασμό υλικών έχουμε στην πλειονότητα των περιπτώσεων την υλοποίηση της κατασκευής του μέσω της χρήσης αλουμινίου και χάλυβα ενώ οι διαδικασίες μορφοποίησης των επιμέρους τεμαχίων αλλά και το είδος αυτών παραμένουν ίδια σε σύγκριση με αμαξώματα κατασκευασμένα εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο. Η αρχή γύρω από την οποία γίνεται αυτός ο συνδυασμός αυτός είναι η χρήση του καταλληλότερου υλικού για την ανάλογη περιοχή ανάλογα με τα φορτία που δέχεται και τις λειτουργίες που επιτελεί το εκάστοτε κομμάτι. Τα βασικά μειονεκτήματα παρουσιάζονται στους τομείς της θερμικής διαστολής σε περιοχές

όπου έχουμε την μετάδοση θερμότητας από άλλες πηγές επί του οχήματος αλλά και στο τρόπο ένωσης των επιμέρους τεμαχίων υπό τον κίνδυνο διάβρωσης αυτών.[38]

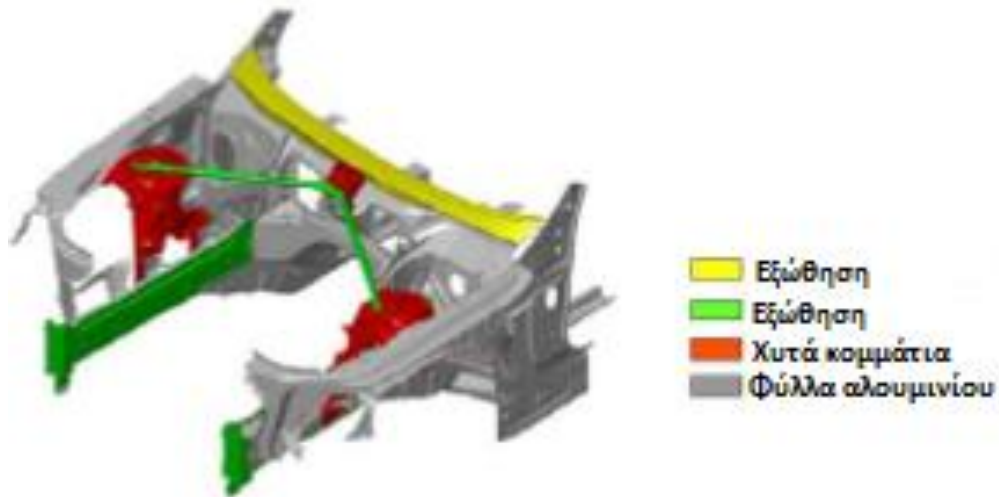


Εικόνα 61 – Αμάξωμα με συνδυασμό υλικών[38]

Στην **εικόνα 61** έχουμε ένα όχημα με αμάξωμα κατασκευασμένο με συνδυαστική χρήση χάλυβα και αλουμινίου όπου ολόκληρο το μπροστινό μέρος είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και το υπόλοιπο αμάξωμα από χάλυβα. Το πλεονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι η προσφορά στην επίτευξη της ιδανικής αναλογίας 50/50 στην κατανομή της μάζας μεταξύ μπροστινού και πίσω άξονα. Όσον αφορά την αναλογία των υλικών κατά μάζα, αυτή αναλύεται ως εξής: 18% κράματα αλουμινίου, 20% φύλλα χάλυβα, 42% χάλυβες υψηλής αντοχής και 20% υπέρ-υψηλής. Το μπροστινό μέρος της κατασκευής αυτής αποτελείται συνολικά από 101 επιμέρους κομμάτια όπου σε αυτά συμπεριλαμβάνονται φύλλα αλουμινίου, εξωθήσεις αλουμινίου και χυτά κομμάτια που χυτεύονται σε μόνιμα καλούπια. Τα φύλλα αλουμινίου είναι κατασκευασμένα από τα κράματα 5042, 5182 και 6008, τα κομμάτια που παράγονται μέσω εξώθησης τα 6060 και 6082 και τέλος τα χυτά μέσω του 51400.[38]

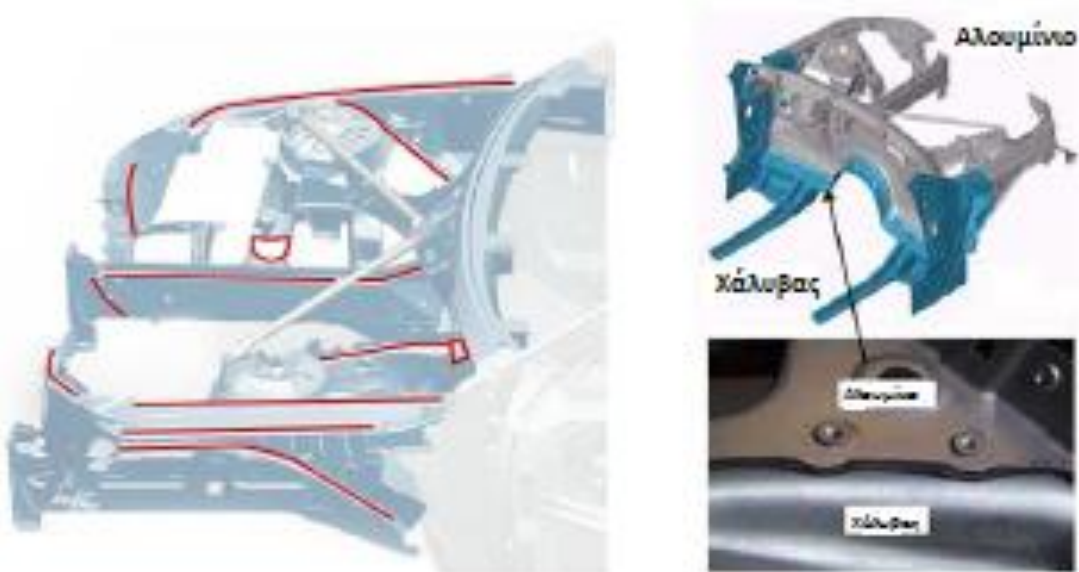
Η εμπρόσθια διαμήκης δοκός αποτελεί κράμα 6060 που διαμορφώνεται μέσω εξώθησης σε συνδυασμό με ένα κράμα 6008 υπό τη μορφή φύλλου αλουμινίου στο εξωτερικό. Ένα εξωθημένο προφίλ (κράμα 6082) κλείνει το μπροστινό άκρο και χρησιμεύει ως πλάκα μετάβασης στο σύστημα διαχείρισης πρόσκρουσης. Το αρχικό κομμάτι για τη τραβέρσα (εικόνα 62-κίτρινο)

κάτω από το εμπρόσθιο παρμπρίζ είναι ένας διαμήκως συγκολλημένος σωλήνας με πάχος τοιχώματος 1,4 mm και εξωτερική διάμετρο 95 mm από κράμα 5042 που παράγεται μέσω εξώθησης και στη συνέχεια κάμπτεται αφού προηγηθεί απόπτωση για βελτιωμένη δυνατότητα διαμόρφωσης.[38]



Εικόνα 62 – Κατασκευή μπροστινού μέρους αμαξώματος[38]

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ένωση των επιμέρους τεμαχίων του μπροστινού τμήματος είναι οι εξής: ήλοι (598), ηλεκτροσυγκόλληση MIG (3,1m) και κόλλα (σύνολο 15,8m/αλουμίνιο με χάλυβα 6,7m). Η χρήση κόλλας συνδυάζεται συνήθως με την ύπαρξη ήλων οι οποίοι για την αποτροπή διάβρωσης είναι επικαλυμμένοι με ειδική επίστρωση για την ένωση του εμπρόσθιου μέρους με το υπόλοιπο αμάξωμα.[38] [Εικόνα 63]



Εικόνα 63 – Ένωση μπροστινού μέρους[38]

Σε άλλες κατασκευές έχουμε την μεγαλύτερη ποσοστιαία χρήση αλουμινίου σε σύγκριση με το προηγούμενο παράδειγμα όπου περιοριζόταν μόνο στο μπροστινό τμήμα. Στην **εικόνα 64** βλέπουμε ένα αμάξωμα με συνδυασμό χάλυβα και αλουμινίου όπου το πρώτο διακρίνεται με ασημί χρώμα ενώ το δεύτερο με κόκκινο όπου συμπεραίνεται άμεσα η υπερμετρής χρήση του αλουμινίου με κάλυψη των περισσότερων τμημάτων όπως το πάτωμα, το μπροστινό τμήμα αλλά και ο σκελετός περιμετρικά της καμπίνας των επιβατών. Στην ουσία πρόκειται για ένα αμάξωμα τύπου χωροδικτυώματος με το ποσοστό αλουμινίου που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη κατασκευή να αγγίζει το 69% (κατά βάρος).[38]

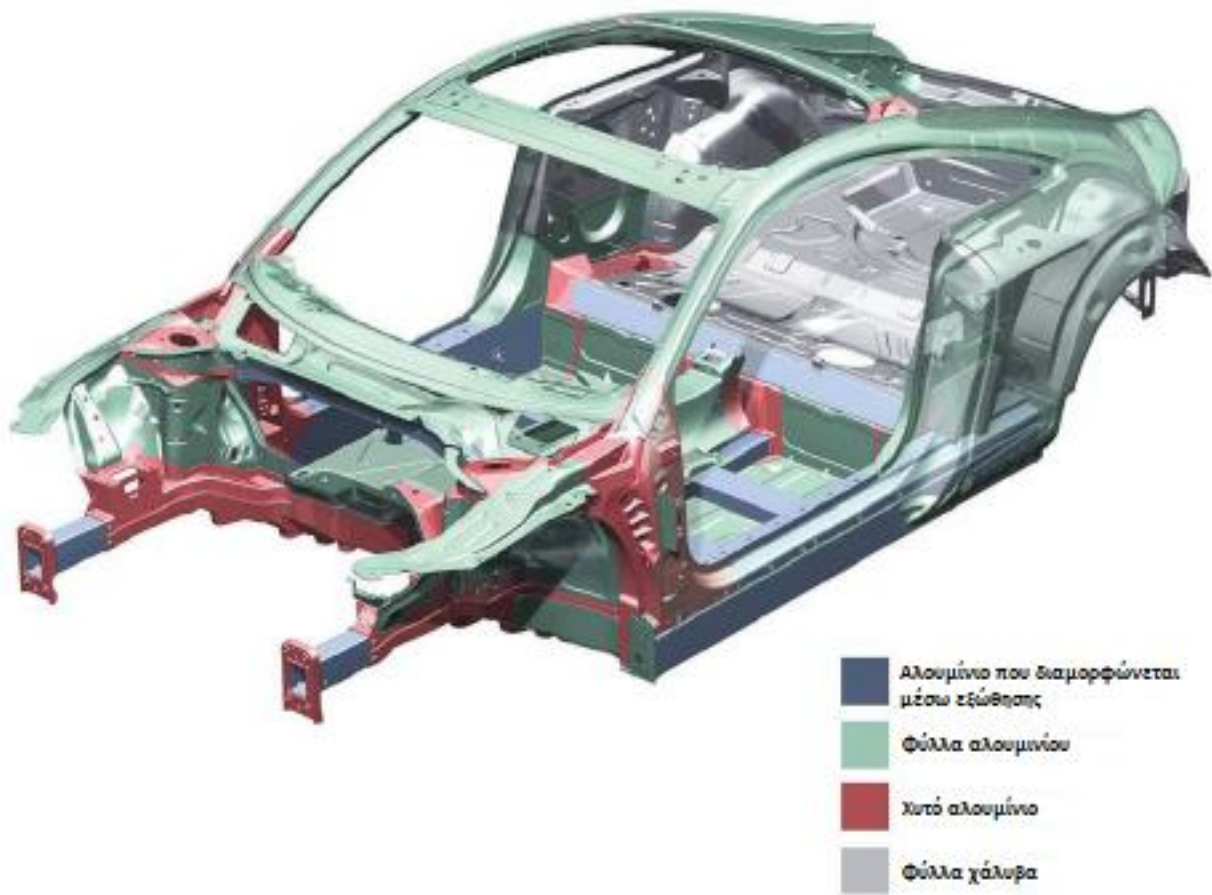


Εικόνα 64 – Αμάξωμα με συνδυασμό χάλυβα-αλουμινίου[38]

Στην **εικόνα 65** παρουσιάζονται οι περιοχές στις οποίες γίνεται η εφαρμογή του κάθε είδους από τα υλικά που εμπεριέχονται στη συγκεκριμένη κατασκευή με τα φύλλα αλουμινίου να καλύπτουν ένα ποσοστό της τάξης του 31%, τα χυτά 22% και τα κομμάτια που διαμορφώνονται μέσω εξώθησης 16% ενώ το υπόλοιπο μέρος της κατασκευής αποτελείται από χάλυβα υπό τη μορφή φύλλων. Ωστόσο η συγκεκριμένη κατασκευή εγγυάται χαμηλό κέντρο βάρους λόγω της κάλυψης των περιοχών που βρίσκονται στα υψηλότερα τμήματα με τη χρήση αλουμινίου αφού ο χάλυβας χρησιμοποιείται σε περιοχές που βρίσκονται σχετικά χαμηλά ενώ όφελος υπάρχει και στη σωστή διανομή της μάζας μεταξύ εμπρόσθιου και οπίσθιου άξονα.[38]

Οι μέθοδοι ένωσης των επιμέρους κομματιών είναι η χρήση ήλων (1606), η ηλεκτροσυγκόλληση MIG (21,5m) και η χρήση κόλλας (97,2m). Οι ήλοι χρησιμοποιούνται για την ένωση μεταξύ τους των κομματιών από αλουμίνιο αλλά και με αυτά από χάλυβα ενώ η συγκόλληση MIG για την σύνδεση των χυτών τεμαχίων από αλουμίνιο με αυτά που διαμορφώνονται μέσω εξώθησης. Για τα χαλύβδινα τεμάχια γίνεται χρήση της συγκόλλησης με

ηλεκτρική αντίσταση. Η χρήση κόλλας λαμβάνει μέρος σε περιοχές όπου έχουμε χρήση ήλων με τη χρήση της να αποτελεί συμπληρωματική των τελευταίων.[38]

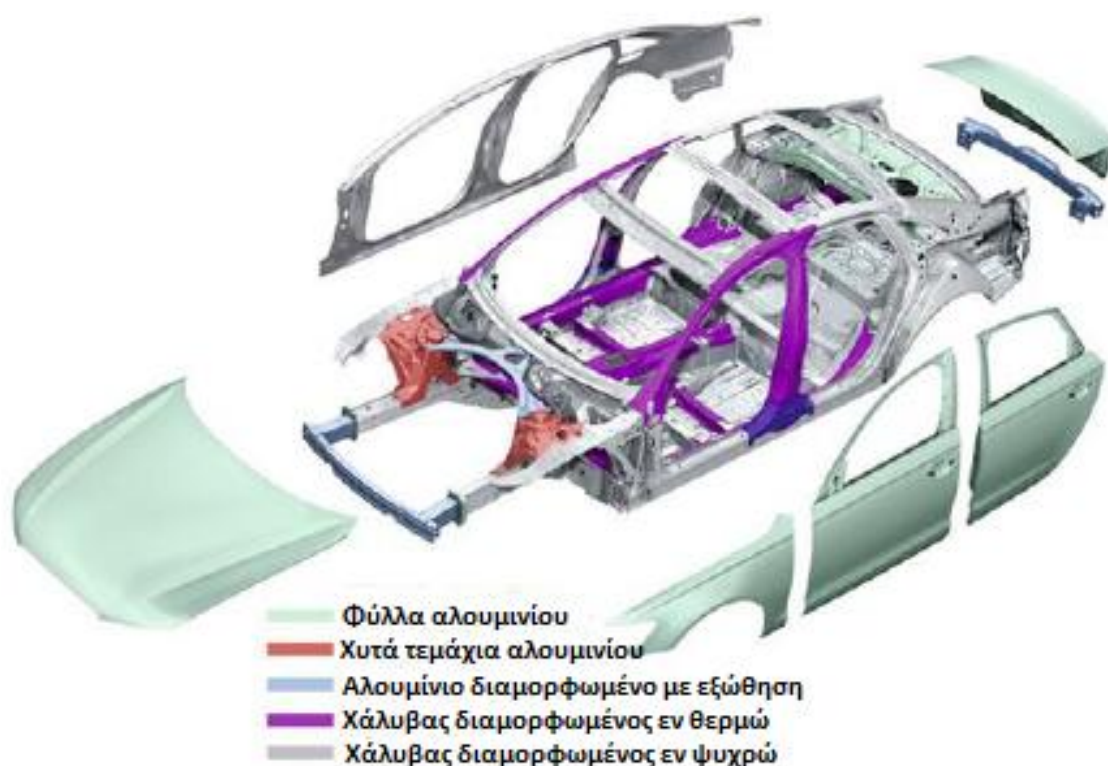


Εικόνα 65 – Αμάξωμα με συνδυασμό χάλυβα-αλουμινίου[38]



Εικόνα 66 – Διαχωρισμός τμημάτων από αλουμίνιο και χάλυβα σε αμάξωμα[38]

Σε μια άλλη εκδοχή αμαξώματος χωροδικτυώματος με συνδυαστική χρήση αλουμινίου και χάλυβα έχουμε την υπέρμετρη χρήση χάλυβα. Στην **εικόνα 67** παρουσιάζεται αντιπροσωπευτικό παράδειγμα όπου έχουμε την ευρεία χρήση φύλλων αλουμινίου σε πολλές περιοχές του αμαξώματος όπως το μπροστινό καπό, η οπίσθια πόρτα του χώρου αποσκευών, οι πόρτες και άλλα στοιχεία μη δομικής σημασίας ενώ ο σκελετός που περικλείει το χώρο των επιβατών κατασκευάζεται κατά ένα ποσοστό από χάλυβα διαμορφωμένο εν θερμώ ξεκινώντας από την πρώτη κολώνα και φτάνοντας μέχρι και τη μεσαία με συμμετοχή επίσης και στο πάτωμα του αμαξώματος υπό τη μορφή ενισχύσεων.[38]



Εικόνα 67 – Αμάξωμα με συνδυασμό υλικών και επιμέρους κομμάτια[38]

4. Μέθοδοι ένωσης επιμέρους τεμαχίων στο αμάξωμα

4.1. Ανάλυση μεθόδων και η αντοχή αυτών

Το αλουμίνιο μπορεί να ενωθεί με άλλα τεμάχια από το ίδιο υλικό αλλά και άλλα υλικά με τη βοήθεια διάφορων μεθόδων. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ένωσης εξαρτάται από τα υλικά που πρόκειται να ενωθούν, τη διαμόρφωση της σύνδεσης και την γεωμετρία αυτής αλλά και τη δομική σημασία αυτής ενώ ο οικονομικός παράγοντας παίζει και αυτός τον ρόλο του αλλά με σχετικά δευτερεύουσα σημασία. Ένα κρίσιμο στοιχείο είναι η πρόσβαση στο σημείο ή στη περιοχή ένωσης αφού πολλές μέθοδοι ένωσης απαιτούν την πρόσβαση και από τις δύο πλευρές της περιοχής ένωσης. Περιορισμένη πρόσβαση στη περιοχή ένωσης είναι δυνατόν να μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων μεθόδων ένωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ίσως χρειαστεί σε μερικές περιπτώσεις ειδική προετοιμασία της περιοχής ένωσης.[35]

4.1.1 Ένωση με χρήση κόλλας

Στις μέρες μας η χρήση κόλλας για την ένωση τεμαχίων στο αμάξωμα ενός οχήματος έχει αυξηθεί ραγδαία λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει όπως[35]:

- 1) Υψηλή ακαμψία της σύνδεσης
- 2) Υψηλή διαστασιακή ακρίβεια
- 3) Εξαιρετική αντοχή σε κόπωση
- 4) Ικανότητα απόσβεσης κραδασμών αλλά και θορύβου
- 5) Επιπρόσθετη προστασία έναντι διάβρωσης επί των μεταλλικών τεμαχίων
- 6) Δυνατότητα συγκόλλησης διαφορετικών υλικών
- 7) Μη εμφανής

Πέρα από την ένωση τεμαχίων μη δομικής σημασίας είναι δυνατόν να ενώνονται και τεμάχια σε περιοχές που φέρουν σημαντικά φορτία οι οποίες πρέπει να προετοιμάζονται κατάλληλα ώστε να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη σταθερότητα της ένωσης. Στην περίπτωση των ενώσεων σε περιοχές που φέρουν σημαντικά φορτία η χρήση κόλλας συνδυάζεται συνήθως με τη χρήση ήλων όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζονται κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την αποκλειστική χρήση κόλλας τα οποία είναι τα εξής[35]:

- 1) Μηχανική στερέωση της ένωσης μέχρις ότου η κόλλα να σκληρύνει είτε μέσω μιας συγκεκριμένης επεξεργασίας σκλήρυνσης είτε μέσω κατάλληλης θερμικής επεξεργασίας.

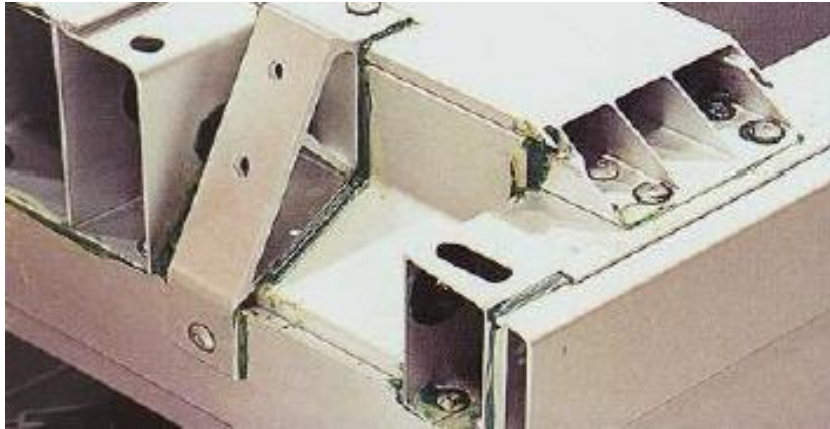
- 2) Βελτιωμένη αντοχή της ένωσης υπό φορτία αποκόλλησης όπου αν η αντοχή αποκόλλησης της κόλλας ξεπεραστεί το φορτίο μπορεί να υποστηριχθεί σε κάποιο βαθμό από τους ήλους που έχουν τοποθετηθεί.



Εικόνα 68 – Αυτοματοποιημένη διαδικασία τοποθέτησης κόλλας σε τεμαχίο αλουμινίου[39]

Γενικά, η αποκλειστική χρήση κόλλας δεν χρησιμοποιείται στις μέρες μας για δομικής σημασίας συνδέσεις διότι αυτές παρουσιάζουν περιορισμένη αντοχή σε αποκόλληση και σε κάμψη. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι επιφάνειες προς ένωση πρέπει να είναι εξαιρετικά καθαρές ενώ οι ενώσεις με κόλλα απαιτούν χρόνο και σε μερικές περιπτώσεις συγκεκριμένη θερμοκρασία για να σκληρύνουν. Η ένωση των τεμαχίων είναι αποτέλεσμα μηχανικής σύμπλεξης μεταξύ του συγκολλητικού πολυμερούς και της επιφάνειας του ακατέργαστου υλικού και της φυσικής ή και χημικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του συγκολλητικού υλικού και των προς ένωση τεμαχίων. Η ειδική προσκόλληση των υλικών περιλαμβάνει τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων της κόλλας και των επιφανειών προς σύνδεση οι οποίες δυνάμεις έχουν ένα μέγιστο εύρος αλληλεπίδρασης που αγγίζει τα 5nm. Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών δυνάμεων προσκόλλησης είναι η ομοιόμορφη διανομή της κόλλας και η κάλυψη όλης της επιφάνειας η οποία πρόκειται να ενωθεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή μιας κόλλας με κατάλληλο ιξώδες και με μια χαμηλότερη

επιφανειακή τάση από το υλικό που πρόκειται να ενωθεί με το δεύτερο να πληρείται στην πλειονότητα των περιπτώσεων.[39]



Εικόνα 69 – Ένωση με χρήση κόλλας σε κομμάτια αλουμινίου διαμορφωμένα με εξώθηση[39]

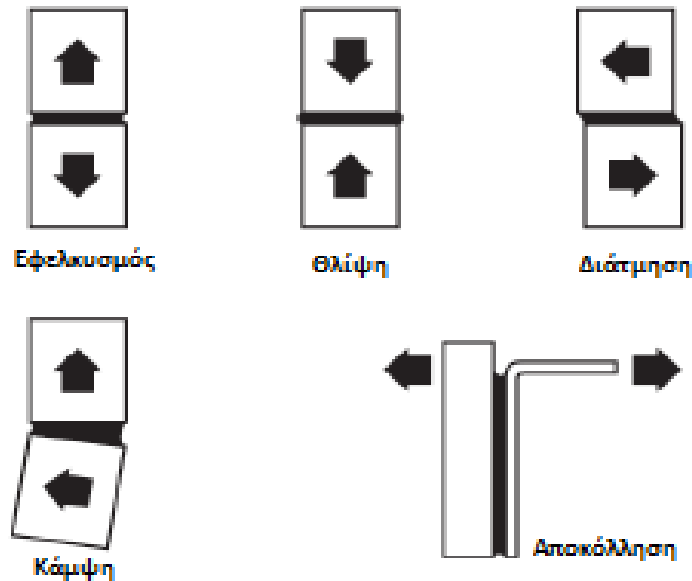
Η χρήση κόλλας είναι ευρεία κατά την ένωση τεμαχίων στο αμάξωμα ενός οχήματος. Μια σημαντική εφαρμογή της είναι στη συναρμολόγηση των θυρών κατά την περίπτωση όπου αυτές αποτελούνται από ένα συνδυασμό τεμαχίων από αλουμίνιο και χάλυβα όπου το εξωτερικό λαμαρινοτεμάχιο που καλύπτει την πόρτα κατασκευασμένο από αλουμίνιο ενώνεται με το αντίστοιχο εσωτερικό χαλύβδινο τμήμα με τη χρήση κόλλας, κατά την περίπτωση εποξειδικής ρητίνης.[31]

Στην περίπτωση της ένωσης της οροφής με το υπόλοιπο αμάξωμα, όταν η οροφή είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο ενώ το υπόλοιπο αμάξωμα από χάλυβα τότε η ένωση γίνεται πάντα μέσω της συνδυαστικής χρήσης κόλλας με την ύπαρξη ήλων, συνήθως αυτό-διάτρητων, οι οποίοι έχουν ως ρόλο την ενίσχυση της αντοχής της σύνδεσης.[30]

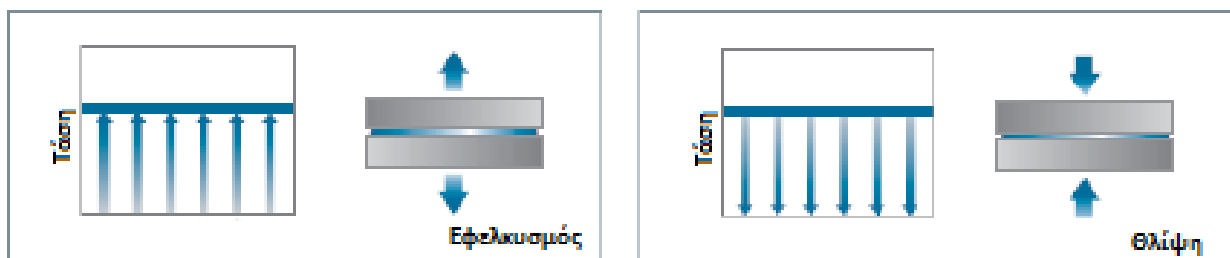
Αναφορικά με την ένωση του σκελετού που περικλείει το χώρο των επιβατών η χρήση της κόλλας, αν και δεν είναι αποκλειστική, είναι ευρεία και χρησιμοποιείται για την ένωση των κολώνων με το πάτωμα του αμαξώματος αλλά και την άνω δομή που περικλείει την οροφή ενώ εφαρμόζεται και για την ένωση της μπροστινής κολώνας με την εμπρόσθια δομή του αμαξώματος ενώ για την υποστήριξη των συνδέσεων γίνεται συνδυαστική χρήση ήλων. (εικόνα 46 και 62) Τα αναφερθέντα αφορούν επιμέρους τεμάχια που αποτελούνται από χάλυβα και αλουμίνιο. Επίσης, σε περιπτώσεις όπου έχουμε ενιαία πλαϊνή πλευρά από ενιαίο λαμαρινοτεμάχιο (εικόνα 43) η χρήση κόλλας για την σύνδεση του ενιαίου αυτού κομματιού κρίνεται άκρως αποδοτική.[38]

4.1.1.1 Είδη καταπονήσεων και προετοιμασία της σύνδεσης

Οι ενώσεις με χρήση κόλλας έχουν εξαιρετική αντοχή σε καταπόνηση από εφελκυσμό, θλίψη και διάτμηση αλλά μικρή αντοχή σε κάμψη και αποκόλληση. (Εικόνα 69) Το κύριο πλεονέκτημα της ένωσης με κόλλα σε σύγκριση με την χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης ή ήλων είναι ότι το φορτίο κατανέμεται πιο ομοιόμορφα στη περιοχή της ένωσης. Σε περίπτωση καταπόνησης εφελκυσμού ή θλίψης η κατανομή της τάσης έχει τη μορφή ευθείας γραμμής.[39] [Εικόνα 71]

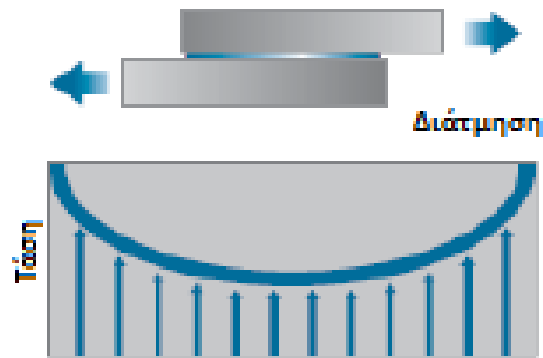


Εικόνα 70 – Είδη καταπονήσεων σε ενώσεις με χρήση κόλλας[39]

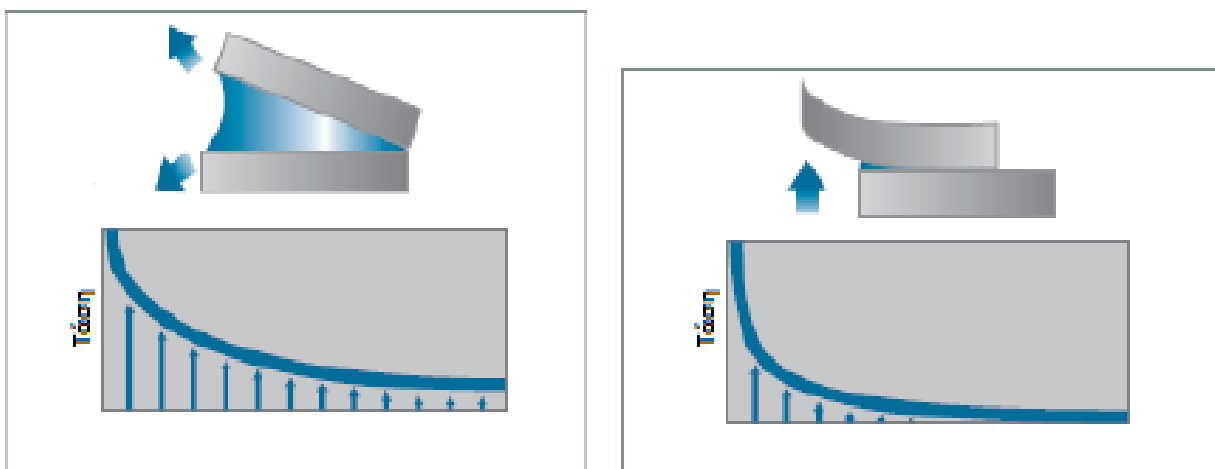


Εικόνα 71 – Κατανομή τάσης εφελκυσμού και θλίψης σε ενώσεις με χρήση κόλλας[39]

Κατά την διάτμηση μεταξύ δύο τεμαχίων ενωμένων με χρήση κόλλας η τάση είναι υψηλότερη στα άκρα όπου έχουμε μια μορφή αποκόλλησης ενώ στο υπόλοιπο τμήμα επαφής η τάση βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα λόγω της πλήρους επαφής μεταξύ των δύο επιφανειών. Γενικά, η χρήση κόλλας για την ένωση 2 επιφανειών προσφέρει υψηλή αντοχή σε καταπόνηση από διάτμηση το οποίο οφείλεται στη μεγάλη επιφάνεια ένωσης των 2 τεμαχίων μειώνοντας έτσι το επίπεδο το παραγόμενων τάσεων. [39] [Εικόνα 72]

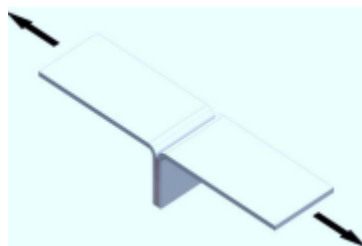


Εικόνα 72 – Κατανομή τάσης διάτμησης σε ενώσεις με χρήση κόλλας[39]



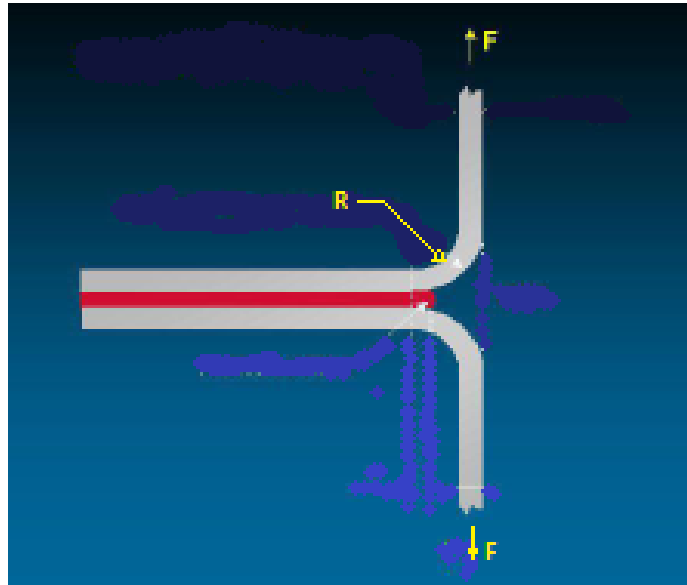
Εικόνα 73 – Κατανομή τάσης αποκόλλησης σε ενώσεις με χρήση κόλλας[39]

Κατά την αποκόλληση οι δυνάμεις εφαρμόζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ωθούν τα τεμάχια στο να διαχωριστούν ξεκινώντας από το ένα άκρο στο οποίο έχουμε και την υψηλότερη τάση η οποία μειώνεται όσο μετακινούμαστε προς το άλλο άκρο με εκθετική μορφή.[39] [Εικόνα 73]



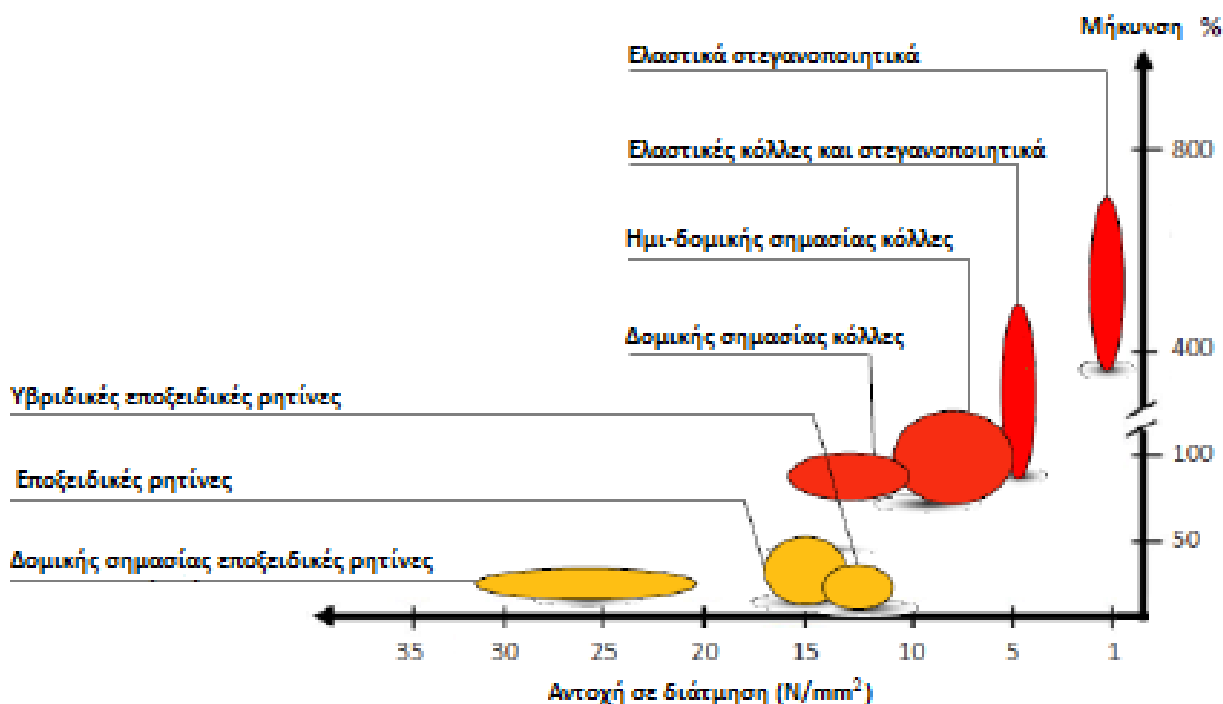
Εικόνα 74 – Ένωση τεμαχίων υπό τη μορφή T με χρήση κόλλας[39]

Ως παράδειγμα, για την ένωση τεμαχίων υπό τη μορφή T δεν θεωρείται κατάλληλη η χρήση κόλλας λόγω της αποκόλλησης που θα δημιουργηθεί κατά την εφαρμογή φορτίου. Συνήθως για την βελτίωση της αντοχής τέτοιου τύπου ενώσεων χρησιμοποιούνται επιπρόσθετες μέθοδοι ένωσης όπως οι ήλοι για την συγκράτηση της ευαίσθητης περιοχής στο άκρο της ένωσης όπου και παρουσιάζεται η υψηλότερη τάση. Στην **εικόνα 75** φαίνεται ένα απλουστευμένο παράδειγμα ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η αντοχή της ένωσης αυξάνεται με μείωση της ακτίνας R της καμπύλης στο άκρο της σύνδεσης.[39]



Εικόνα 75 – Ένωση τεμαχίων υπό τη μορφή T με χρήση κόλλας[39]

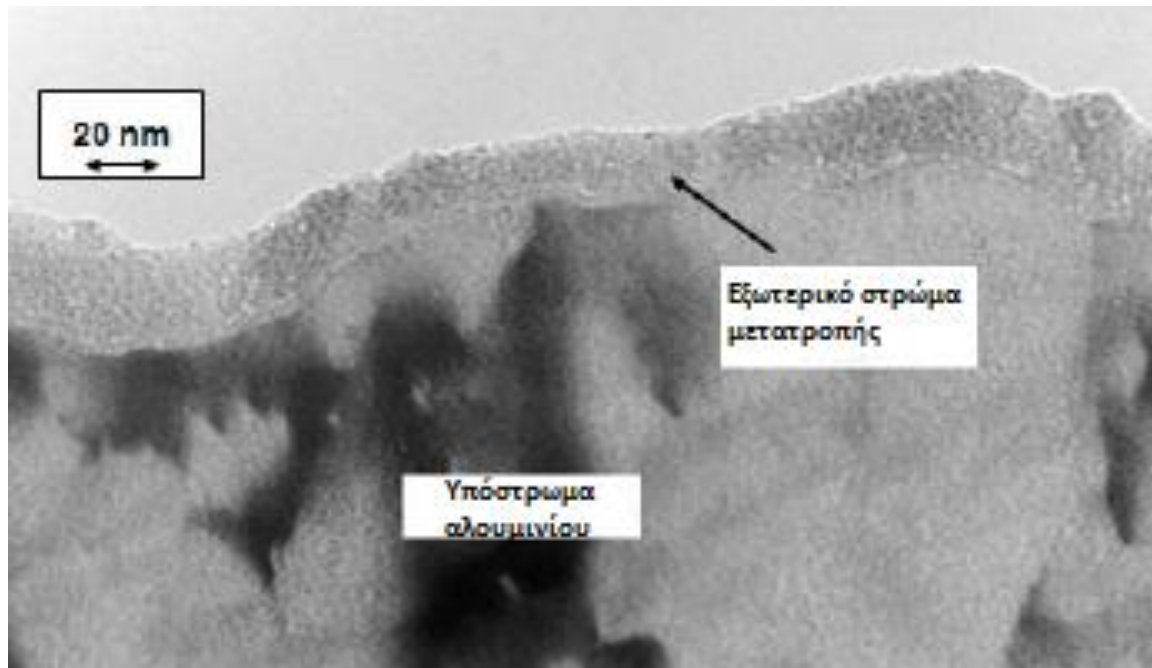
Οι περισσότερες κόλλες έχουν αντοχή σε εφελκυσμό που κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 10 και 60 N/mm^2 ενώ η αντοχή τους σε διάτμηση αγγίζει τα 30 N/mm^2 τιμές κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες των περισσότερων κραμάτων του αλουμινίου. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι ελαφρώς υψηλότερος από τα κράματα του αλουμινίου ενώ σημαντικό είναι το γεγονός ότι η αντοχή της ένωσης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι η μειωμένη αντοχή σε ερπυσμό της κόλλας σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η συγκέντρωση ανεπιθύμητων υψηλών τάσεων σε χαμηλές θερμοκρασίες για αυτό είναι απαραίτητη η κατάλληλη επιλογή της αντίστοιχης κόλλας ώστε να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε συνθήκες.[39]



Εικόνα 76 – Διάγραμμα μήκυνσης-αντοχής σε διάτμηση για διάφορες κατηγορίες κόλλας[39]

Για να είναι δυνατή η ενσωμάτωση της κόλλας επί των επιφανειών που πρόκειται να ενωθούν ώστε να επιτευχθεί ισχυρή και μακροχρόνια κόλληση μεταξύ αυτών πρέπει να προηγηθούν κάποιες διεργασίες όπως η χημική μετατροπή της επιφάνειας του αλουμινένιου τεμαχίου. Αυτό περιλαμβάνει τη διάλυση του λεπτού στρώματος οξειδίου που βρίσκεται στην επιφάνεια του αλουμινίου μέσω αλκαλικού ή όξινου καθαρισμού και την ελεγχόμενη δημιουργία ενός νέου σταθερού στρώματος το οποίο μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης και βελτιώνει τις ιδιότητες και την αντοχή της σύνδεσης.[39]

Ευρέως χρησιμοποιούμενες στη σύγχρονη αυτοκινητοβιομηχανία είναι οι μέθοδοι επεξεργασίας του επιφανειακού στρώματος με υγρά που δεν περιέχουν χρώμιο αλλά βασίζονται είτε σε μίγμα φθοριούχου τιτανίου είτε σε μίγμα φθοριούχου τιτανίου και ζirkονίου. Η ανωτέρω διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ειδικά λουτρά επεξεργασίας τα οποία περιέχουν συνήθως οργανικά οξέα ή φωσφορικές ενώσεις τα οποία βελτιώνουν περαιτέρω την ενσωμάτωση της κόλλας επί των επιφανειών. Κατά τη διάρκεια αυτής της χημικής επεξεργασίας, σχηματίζονται τροποποιημένες μεμβράνες επιφανειών μικτού οξειδίου που περιέχουν ιόντα τιτανίου και ζirkονίου, οι οποίες είναι ομοιογενείς, σταθερές και προσφέρουν καλή πρόσφυση σε οργανικές ενώσεις.[39] [Εικόνα 77]

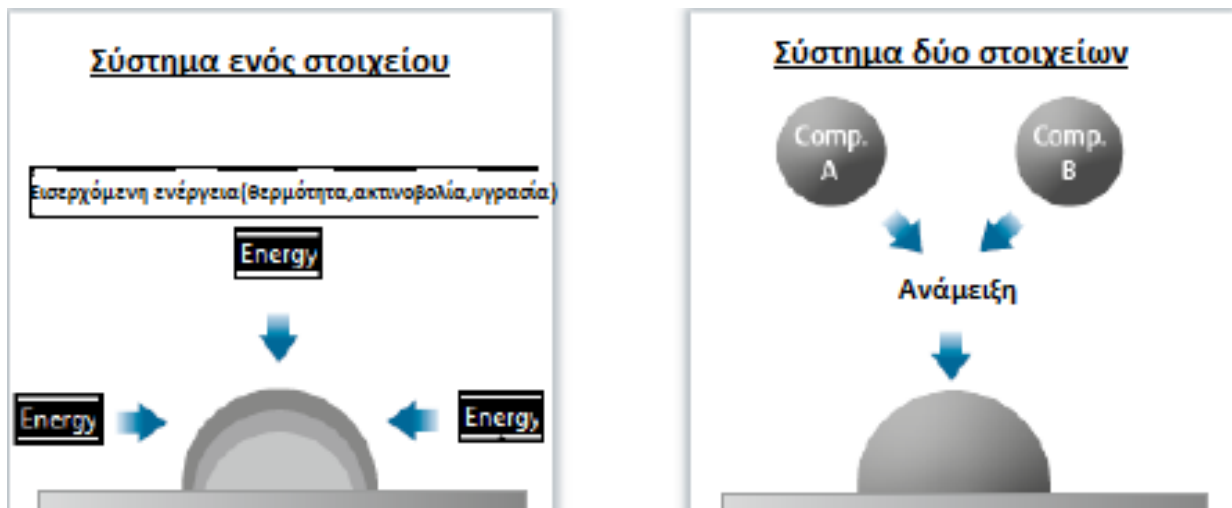


Εικόνα 77 – Μικρογραφία τομής αλουμινένιου τεμαχίου κατά τη μετατροπή του εξωτερικού στρώματος[39]

4.1.1.2 Είδη συγκολλητικών

Όταν μια κόλλα επιλέγεται για μια συγκεκριμένη κατασκευή είναι σημαντικό να υπερκαλύπτει όλες τις απαραίτητες απαιτήσεις αντοχής ώστε η σύνδεση να είναι ασφαλής και να έχει μακροχρόνια αντοχή. Έτσι λοιπόν η επιλογή της κατάλληλης κόλλας γίνεται σύμφωνα με κάποια κριτήρια τα οποία αναφέρονται ως εξής[39]:

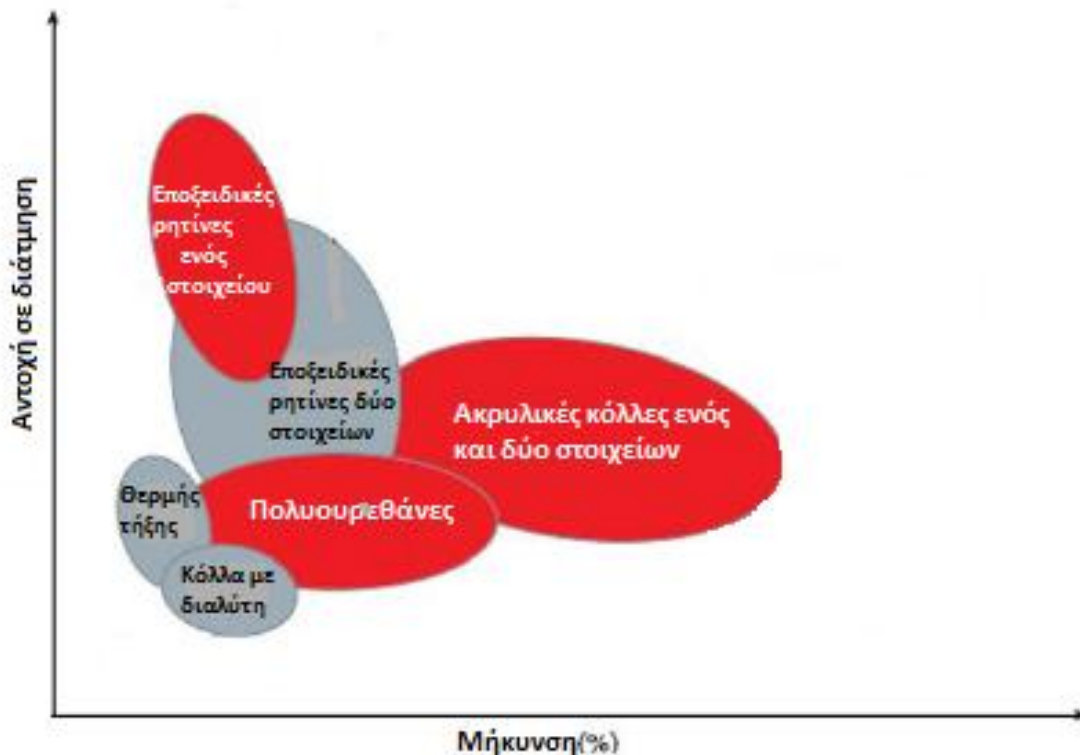
- 1) Μέθοδος εφαρμογής της κόλλας στη περιοχή ένωσης ανάλογα με το αν γίνεται αυτοματοποιημένα ή χειροκίνητα και ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.
- 2) Απαίτηση για ειδικό εξοπλισμό σκλήρυνσης της κόλλας.
- 3) Επίδραση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία στο ρυθμό σκλήρυνσης της κόλλας.
- 4) Χρόνος που χρειάζεται για να αναπτύξει η κόλλα επαρκή αντοχή ώστε να είναι δυνατή η συναρμολόγηση των υπόλοιπων τμημάτων της κατασκευής.



Εικόνα 78 – Στερεοποίηση μέσω σκλήρυνσης[39]

Οι κόλλες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η στερεοποίηση τους στη περιοχή της ένωσης και ανάλογα με τον χημικό τους τύπο. Οι ισχυρότερες κόλλες στερεοποιούνται μέσω χημικής αντίδρασης σε αντίθεση με τις λιγότερο ισχυρές οι οποίες στερεοποιούνται μέσω φυσικής γήρανσης. Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η στερεοποίηση τους στη περιοχή της ένωσης έχουμε τις παρακάτω τρεις κατηγορίες[39]:

- 1) Στερεοποίηση μέσω ύγρυνσης όπου έχουμε την εξάτμιση του νερού που εμπεριέχεται εντός της κόλλας. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν θεωρείται κατάλληλη για την ένωση του αλουμινίου με αλουμίνιο ή άλλα μέταλλα.
- 2) Στερεοποίηση μέσω ψύξης όπου η κόλλα ενεργοποιείται μέσω της θέρμανσης της στη περιοχή ένωσης. Αρχικά εφαρμόζονται στη μία ή και στις δύο επιφάνειες όπου η κόλλα ενεργοποιείται στην μια επιφάνεια και ενώνεται ταχύτατα με την δεύτερη μέσω της στερεοποίησης της.
- 3) Στερεοποίηση μέσω σκλήρυνσης όπου έχουμε δύο επιμέρους κατηγορίες, σύστημα ενός στοιχείου και σύστημα δύο στοιχείων. Στο σύστημα ενός στοιχείου έχουμε την έτοιμη προς χρήση κόλλα η οποία εφαρμόζεται στη περιοχή ένωσης και στερεοποιείται μέσω της χρήσης εξωτερικής πηγής θερμότητας ή ακτινοβολίας ή υγρασίας. Στο σύστημα δύο στοιχείων έχουμε την ανάμειξη δύο διαφορετικών στοιχείων όπου έχουμε μια χημική αντίδραση η οποία προκαλεί τον πολυμερισμό των παραπάνω υλικών και την τελική σύνδεση των επιφανειών. (Εικόνα 78)



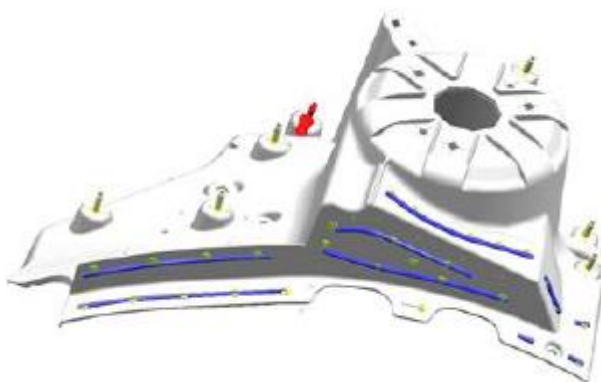
Εικόνα 79 – Διάγραμμα αντοχής σε διάτμηση – μήκυνσης για διάφορες κατηγορίες κόλλας [39]

Ανάλογα με την χημική σύσταση των συγκολλητικών έχουμε την ύπαρξη πολλών ειδών όπου όμως στη σύγχρονη αυτοκινητοβιομηχανία γίνεται η χρήση ορισμένων από αυτά τα οποία και θα αναφερθούν.

Οι ακρυλικές κόλλες δύο στοιχείων αποτελούνται από την ρητίνη και τον ενεργοποιητή τα οποία αποτελούν αμφοτέρα υγρά με μεγάλο ιξώδες. Τα δύο υγρά αναμιγνύονται πριν τη εφαρμογή τους στη περιοχή προς ένωση έχοντας τη μορφή ενός ομοιογενούς υλικού και αφότου τοποθετηθεί το έτοιμο προς χρήση υλικό χρειάζεται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα που κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 λεπτών σε θερμοκρασία δωματίου ώστε να σκληρύνει και να σταθεροποιηθεί η κόλληση ενώ το παραπάνω χρονικό διάστημα μπορεί να μειωθεί μέσω της θέρμανσης της περιοχής κόλλησης. Οι ακρυλικές κόλλες παρέχουν υψηλή αντοχή υπό φορτία αποκόλλησης και υψηλή αντοχή επί των ατμοσφαιρικών συνθηκών.[39]

Οι εποξειδικές ρητίνες αποτελούνται από μια ρητίνη και ένα σκληρυντικό και προμηθεύονται ως ενός και δύο στοιχείων και με ιξώδες που μπορεί να είναι αρκετά χαμηλό όπου το υλικό είναι δυνατόν να ψεκάζεται μέχρι και αρκετά μεγάλο υπό τη μορφή πάστας. Έχουν πολύ καλές

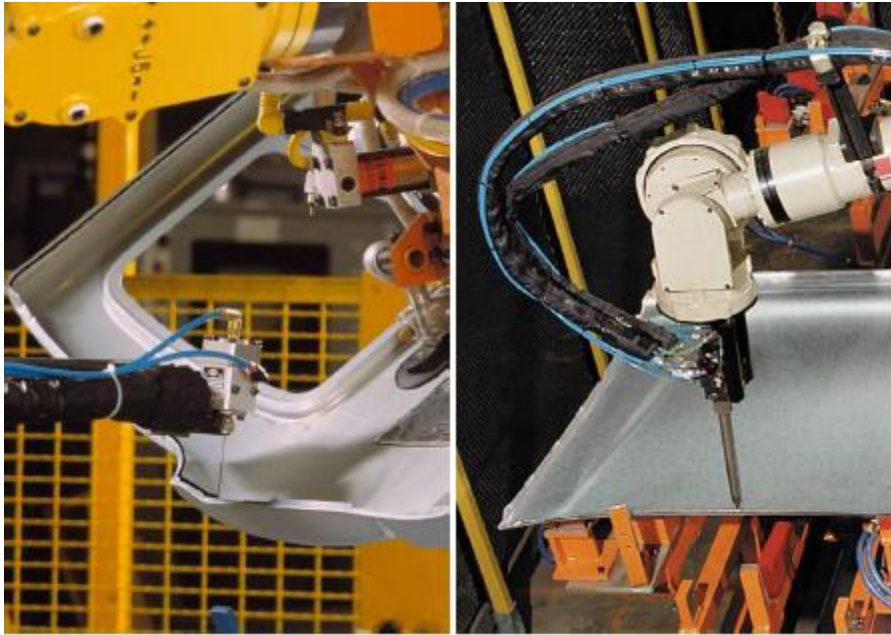
ιδιότητες ως προς τη πλήρωση μικρών κενών επί της επιφάνειας ένωσης και μετά τη στερεοποίησή τους δημιουργούν πολύ ισχυρό δεσμό μεταξύ των δύο επιφανειών ενώ έχουν υψηλή αντοχή επί των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Όταν χρησιμοποιούνται συστήματα ενός στοιχείου, η ρητίνη και το σκληρυντικό προμηθεύονται ως ήδη αναμιγμένα μεταξύ τους και μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι τη χρήση τους. Με τη θέρμανση του μείγματος το σκληρυντικό ενεργοποιείται έχοντας ως αποτέλεσμα τη ταχεία έναρξη της στερεοποίησης της κόλλας το οποίο συμβαίνει σε θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ 125 και 150 °C και σε χρονικό διάστημα που αγγίζει συνολικά τα 30 με 60 λεπτά. Όταν χρησιμοποιείται σύστημα δύο στοιχείων, η ρητίνη και το σκληρυντικό αποτελούν ξεχωριστά υλικά και αναμιγνύονται πριν τη χρήση δημιουργώντας ένα ομοιογενές υλικό το οποίο αφού εφαρμοστεί στη περιοχή κόλλησης στερεοποιείται σχετικά γρήγορα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Να σημειωθεί ότι η χρήση των εποξειδικών ρητινών είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη σε κατασκευές οχημάτων με τις κόλλες πολυουρεθάνης να ακολουθούν σε βαθμό εφαρμογής. [39]



Εικόνα 80 – Ένωση θόλου ανάρτησης με το υπόλοιπο αμάξωμα μέσω της χρήσης εποξειδικής ρητίνης [39]

Οι κόλλες θερμής τήξης είναι κυρίως ενός στοιχείου και αποτελούν μείγματα θερμοπλαστικών χωρίς τη ύπαρξη διαλυτικού μέσου ενώ έχουν στερεή μορφή υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η εφαρμογή τους στη περιοχή της κόλλησης γίνεται σε θερμοκρασία υψηλότερη των 175 °C όπου και έχουν μέτριο προς υψηλό ιξώδες και μπορούν να επεξεργαστούν με σχετική ευκολία. Μετά την εφαρμογή τους στερεοποιούνται αρκετά γρήγορα και αποκτούν τις προβλεπόμενες ιδιότητες αντοχής. Η γρήγορη στερεοποίηση τους όμως έχει και ένα μειονέκτημα το οποίο είναι ότι όταν η θερμή κόλλα έρθει σε επαφή με μια κρύα επιφάνεια τότε είναι πολύ πιθανόν η κόλλα να μην καλύψει όλη την επιθυμητή επιφάνεια που προορίζεται για κόλληση με ότι αυτό συνεπάγεται ως προς την αντοχή της σύνδεσης. Οι κόλλες θερμής τήξης χρησιμοποιούνται συνήθως για περιοχές που δέχονται σχετικά χαμηλά φορτία ενώ παρέχουν μακροπρόθεσμη αντοχή της ένωσης και

αντοχή στην επίδραση της υγρασίας, των διάφορων χημικών αλλά και σε οποιοσδήποτε εναλλαγές θερμοκρασίας.[39]



Εικόνα 81 – Εφαρμογή της κόλλας θερμής τήξης [39]

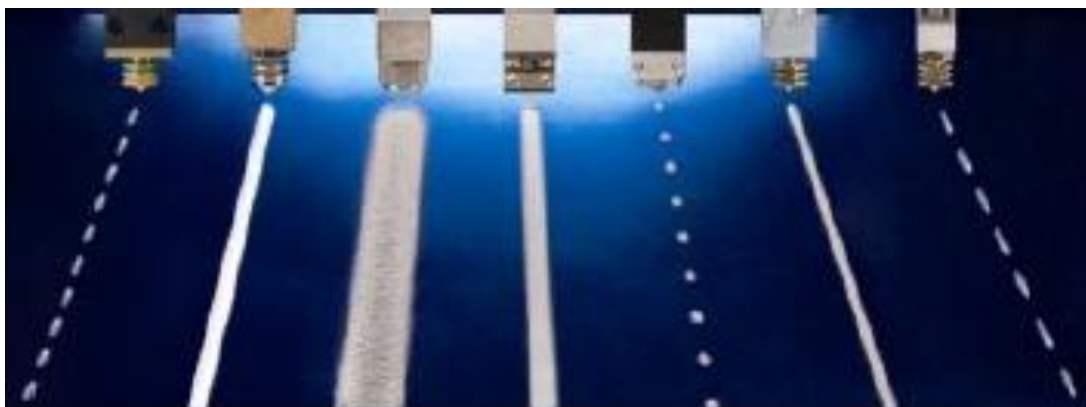
Οι κόλλες πολυουρεθάνης διατίθενται σε ενός και δύο στοιχείων με ιξώδες που μπορεί να είναι από πολύ μικρό έως πολύ μεγάλο ενώ υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι οι οποίες είναι οι εξής: 1) δύο στοιχείων, 2) ενός στοιχείου που στερεοποιούνται μέσω θερμότητας και 3) ενός στοιχείου που στερεοποιούνται μέσω υγρασίας. Οι κόλλες πολυουρεθάνης ενός στοιχείου που στερεοποιούνται μέσω υγρασίας αποτελούνται από μη πτητικά προ-πολυμερή ουρεθάνης ενώ η υγρασία παίζει το ρόλο του σκληρυντικού. Δεδομένου ότι η στερεοποίηση της κόλλας εξαρτάται από την διάχυση της υγρασίας διαμέσου του πολυμερούς, η στερεοποίηση είναι μια σχετικά χρονοβόρα διαδικασία ενώ μπορεί να επιταχυνθεί μέσω της προσθήκης ενός δευτερεύοντος προϊόντος με κύριο συστατικό το νερό. Οι κόλλες πολυουρεθάνης ενός στοιχείου που στερεοποιούνται μέσω θερμότητας απαιτούν θερμοκρασία εντός του εύρους 100-200 °C ώστε να αποδεσμευθεί η ισοκυανική ομάδα η οποία είναι απαραίτητη για τη παραγωγή της πολυουρεθάνης. Στερεοποιούνται πιο αργά σε σύγκριση με τη προηγούμενη κατηγορία στην οποία χρησιμοποιείται η υγρασία για τη στερεοποίηση αλλά αναπτύσσουν υψηλότερη αντοχή. Οι κόλλες πολυουρεθάνης δύο στοιχείων αποτελούνται από τη ρητίνη και το σκληρυντικό. Για τη ρητίνη χρησιμοποιούνται πολυόλες χαμηλού μοριακού βάρους ενώ για το σκληρυντικό προ-πολυμερή χαμηλού μοριακού βάρους με ισοκυανικά άκρα. Μετά την ανάμειξη των δύο

στοιχείων στις σωστές αναλογίες και την εφαρμογή του ομογενοποιημένου πλέον υλικού στη περιοχή της κόλλησης ξεκινά αμέσως η διαδικασία στερεοποίησης της κόλλας.[39]

4.1.2.3 Μέθοδοι εφαρμογής της κόλλας

Η μέθοδος με την οποία εφαρμόζεται η κόλλα στη περιοχή που πρόκειται να ενωθεί εξαρτάται από τη μορφή της κόλλας, αν είναι στερεή ή υγρή, από το ιξώδες της κόλλας και από το αν η κόλλα θα εφαρμοστεί χειροκίνητα ή αυτοματοποιημένα. Στην περίπτωση της κατασκευής οχημάτων χρησιμοποιούνται κυρίως αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την εφαρμογή της κόλλας. Η βέλτιστη μέθοδος εφαρμογής της κόλλας εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις κατά τη παραγωγή και τον τύπο της κόλλας που χρησιμοποιείται.[39]

Κατά τη χειρωνακτική εφαρμογή της κόλλας χρησιμοποιούνται ειδικά πιστόλια χειρός με ακροφύσιο τα οποία είναι φορητά αλλά απαιτούν συχνή επαναπλήρωση ενώ η ποιότητα της εφαρμογής εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα του χειριστή. Με την αυτοματοποιημένη διαδικασία εφαρμογής της κόλλας, η οποία βασίζεται στη χρήση ρομπότ, επιτυγχάνεται εξαιρετικά γρήγορη ολοκλήρωση της διαδικασίας. Η απλούστερη μέθοδος εφαρμογής της κόλλας μέσω ρομπότ είναι η εξώθηση αλλά τελευταία αυτή έχει αντικατασταθεί από τη μέθοδο ροής και ψεκασμού η οποία προσφέρει ακόμα υψηλότερη ταχύτητα εφαρμογής της κόλλας. Τα αυτοματοποιημένα πιστόλια προσφέρουν μια ποικιλία επιλογών για την επίτευξη ακριβών σχεδίων ως προς τη μορφή με την οποία εφαρμόζεται η κόλλα στη περιοχή κόλλησης. Τα πιστόλια που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα παρέχουν ακριβή χρονοισμό εφαρμογής της κόλλας και δεν είναι ευαίσθητα στο ιξώδες του υλικού ενώ τα ηλεκτρικά είναι ακόμα πιο ακριβή επιτυγχάνοντας το επιθυμητό μοτίβο με το οποίο έχει προγραμματιστεί να εφαρμοστεί η κόλλα επί της επιφάνειας κόλλησης.[39]



Εικόνα 82 – Διάφορα μοτίβα εφαρμογής της κόλλας [39]

Περαιτέρω δυνατότητες ως προς την εφαρμογή της κόλλας είναι η μέθοδος εφαρμογής πολλαπλών σημείων συγκόλλησης. Επίσης αποδοτική είναι και η μέθοδος του ελικοειδούς ψεκασμού όπου μεγάλες επιφάνειες μπορούν να επικαλυφθούν με κόλλα σε ένα μόνο βήμα και με υψηλές ταχύτητες προώθησης. Μια ενδιαφέρουσα επιλογή είναι επίσης η τεχνολογία βραχέων σφαιριδίων, η οποία λειτουργεί με ηλεκτρικό σερβομηχανισμό, επιτρέποντας πολύ ταχύτερο και ακριβέστερο άνοιγμα και κλείσιμο της κεφαλής εφαρμογής. Η εφαρμογή της κόλλας μπορεί να διακοπεί σε ακριβώς καθορισμένα χρονικά διαστήματα, για παράδειγμα όταν χρησιμοποιείται συνδυασμός σημειακής συγκόλλησης και γραμμικής συγκόλλησης. Έτσι, η τεχνολογία βραχέων σφαιριδίων βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σύνδεσης τόσο με την εξοικονόμηση συγκολλητικού υλικού όσο και με τη μείωση του χρόνου εφαρμογής.[39] [Εικόνα 83]



Εικόνα 83 – Ελικοειδής ψεκασμός (αριστερά) και βραχέων σφαιριδίων (δεξιά) [39]

4.1.2 Ένωση με χρήση ήλων

Οι ήλοι αποτελούν μόνιμους, μη αποσπώμενους, μηχανικούς συνδέσμους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ένωση 2, συνήθως, τεμαχίων ή και περισσότερων, σε ειδικές εφαρμογές. Κατά την διαδικασία εφαρμογής τους τα τεμάχια που πρόκειται να ενωθούν συσφιγγονται μεταξύ τους μέσω ενός βοηθητικού εργαλείου το οποίο είναι δυνατόν να λειτουργεί πνευματικά, υδραυλικά, ηλεκτρικά, μηχανικά ή σε μερικές περιπτώσεις ηλεκτρομαγνητικά ενώ η διαδικασία είναι δυνατόν να είναι χειρωνακτική ή αυτοματοποιημένη.[40]

Η τεχνολογία ένωσης μέσω ήλων διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες[40]:

- 1) Συστήματα που απαιτούν προκαθορισμένες οπές (τυφλοί ήλοι)
- 2) Συστήματα αυτόματης διάτρησης που δεν απαιτούν προκαθορισμένες οπές (αυτό-διάτρητοι ήλοι)

Η μηχανική αντοχή και ειδικότερα η αντοχή σε κόπωση των ενώσεων που προκύπτουν είναι γενικά πολύ καλή. Τα πραγματικά μηχανικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται άμεσα από τη γεωμετρία της σύνδεσης, την εφαρμοζόμενη μέθοδο σύνδεσης, τον τύπο του συνδετικού στοιχείου (υλικό, γεωμετρία) και τα χαρακτηριστικά των υλικών που ενώνονται. Για την ένωση αλουμινίου με αλουμίνιο ή χάλυβα χρησιμοποιούνται συνήθως ήλοι από χάλυβα επικαλυμμένο με ειδική επίστρωση για προστασία από την εμφάνιση γαλβανικής διάβρωσης ή από ανοξείδωτο χάλυβα ενώ σε μερικές περιπτώσεις γίνεται και χρήση ήλων από αλουμίνιο. Επίσης αν τα χαλύβδινα τεμάχια δεν είναι ανοξείδωτα υφίστανται γαλβανισμό (επιψευδαργύρωση) ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση γαλβανικής διάβρωσης.[35]

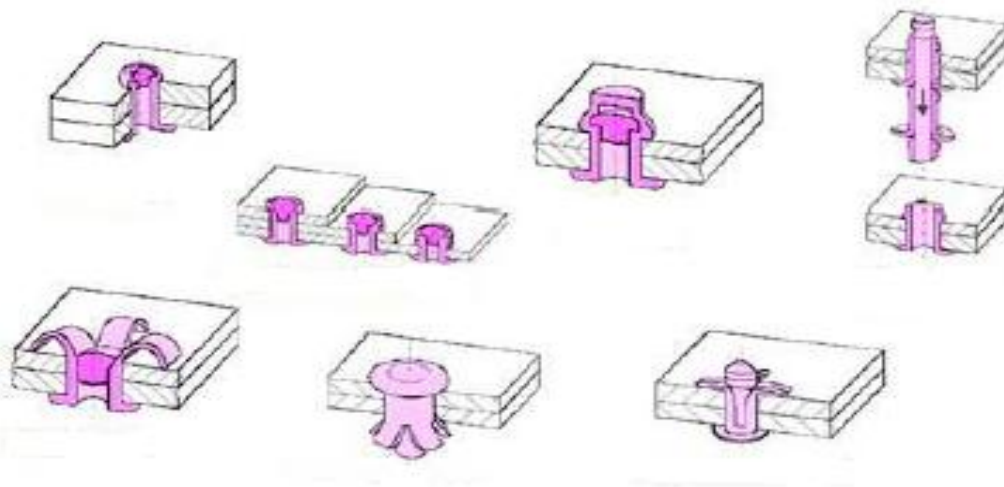


Εικόνα 84 – Σύνδεση μέσω ήλων μεταξύ αλουμινίου και χάλυβα [35]

Οι ήλοι εφαρμόζονται σχεδόν αποκλειστικά σε συνδυασμό με τη χρήση κόλλας (εικόνα 43,46 και 62) και έχουν εφαρμογή στην ένωση της οροφής με το υπόλοιπο αμάξωμα και στην ένωση των επιμέρους λαμαρινοτεμαχίων στον κύριο κορμό του αμαξώματος που περικλείει τον χώρο των επιβατών ενώ αφορά την ένωση τόσο αλουμινένιων τεμαχίων με επίσης αλουμινένια όσο και αλουμινένια με αντίστοιχα χαλύβδινα.[38]

4.1.2.1 Τυφλοί ήλοι

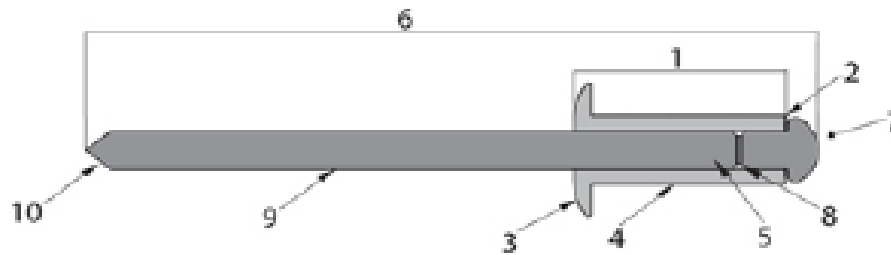
Βασικό χαρακτηριστικό κατά την σύνδεση με τυφλούς ήλους είναι ότι το συνδετικό στοιχείο εισέρχεται και κλείνεται από τη μία πλευρά σε έτοιμες οπές επί των τεμαχίων. Επίσης οι τυφλοί ήλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδέσεις στις οποίες υπάρχει πρόσβαση και από τις δύο πλευρές ώστε να απλοποιήσουν περίπλοκες διαδικασίες συναρμολόγησης ή να βελτιώσουν την εξωτερική εμφάνιση της σύνδεσης. Οι τυφλοί ήλοι αποτελούν εύκολους στη χρήση συνδέσμους οι οποίοι εφαρμόζονται γρήγορα επιτρέποντας γρήγορη συναρμολόγηση και υψηλή αντοχή της σύνδεσης με ταυτόχρονο συνδυασμό καλής εμφάνισης.[40]



Εικόνα 85 – Είδη τυφλών ήλων [40]

Η βασική διαμόρφωση ενός τυφλού ήλου απεικονίζεται στην **εικόνα 86** όπου διαχωρίζεται σε δύο κύρια τμήματα, τον άξονα και το σώμα που φέρει τη κεφαλή του ήλου. Το τμήμα 9 αφαιρείται μετά τη εφαρμογή του ήλου ενώ το τμήμα 4 επικαλύπτει τη κεφαλή του άξονα ασφαλίζοντας τη σύνδεση.[40][Εικόνα 86]

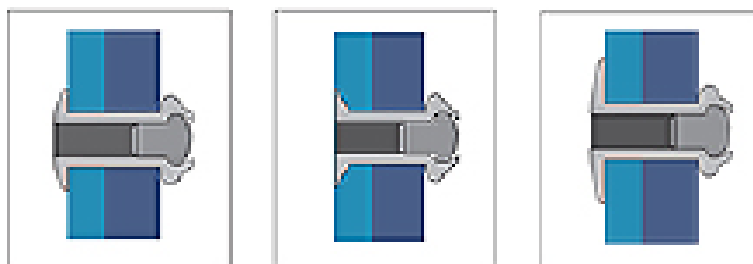
Η βασική μορφή των τυφλών ήλων περιλαμβάνει τρία διαφορετικά είδη κεφαλών, την βασική, την πλατιά και την φρεζάτη. Η βασική κεφαλή χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις όπου το υλικό έχει κανονική τραχύτητα επιφάνειας. Η πλατιά κεφαλή χρησιμοποιείται για την ένωση υλικών με αρκετά λείες επιφάνειες προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη αντίσταση λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας. Τέλος οι φρεζάτες κεφαλές χρησιμοποιούνται για την επίτευξη επίπεδης επιφάνειας της σύνδεσης απαλλαγμένη από επιμέρους εξοχές λόγω των κεφαλών των ήλων και επιλέγεται συνήθως για κατασκευαστικούς λόγους ενώ σε μερικές περιπτώσεις και για λόγους εμφάνισης.[40][Εικόνα 87]



- 1- Σώμα του ήλου
- 2- Τελικό άκρο του σώματος
- 3- Κεφαλή του ήλου
- 4- Κυλινδρικό τμήμα του ήλου
- 5- Εσωτερικό τμήμα του σώματος του ήλου
- 6- Κύριος άξονας
- 7- Κεφαλή άξονα
- 8- Σημείο θραύσης του άξονα
- 9- Σώμα του άξονα
- 10- Τελικό άκρο άξονα

Εικόνα 86 – Βασική διαμόρφωση τυφλού ήλου [40]

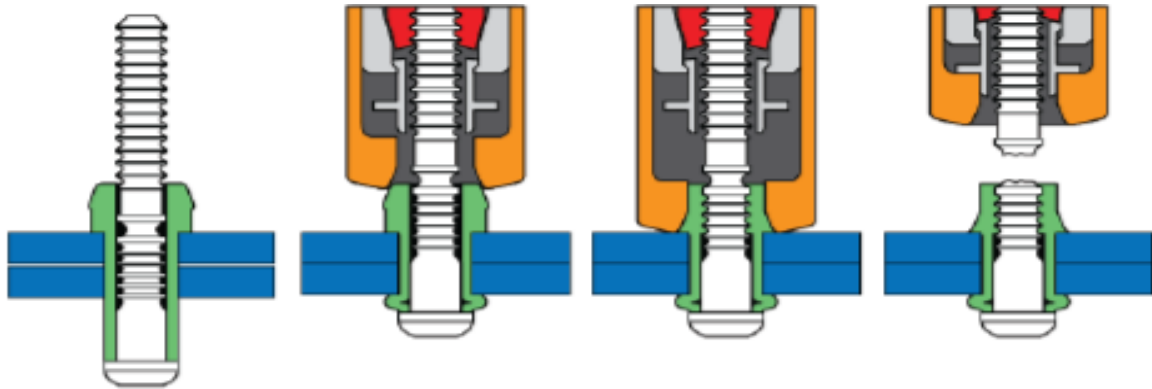
Η επιλογή του κατάλληλου τυφλού ήλου για συγκεκριμένη εφαρμογή είναι σημαντικός παράγοντας για την μακροζωία και την αντοχή της σύνδεσης και εξαρτάται κυρίως από τη διάμετρο του ήλου, την διαμόρφωση της κεφαλής του, την κατάλληλη προετοιμασία της οπής στην οποία θα εφαρμοστεί ο ήλος αλλά και το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται ο ήλος. Για να επιτευχθεί ασφαλής σύνδεση πρέπει το κυλινδρικό τμήμα του ήλου να παραμορφωθεί ομοιόμορφα καλύπτοντας την κεφαλή του άξονα ενώ σημαντικό είναι και το γεγονός ότι ο άξονας πρέπει να σπάει στη προγραμματισμένη δύναμη στην οποία έχει οριστεί από τον κατασκευαστή. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η παραμόρφωση του κυλινδρικού τμήματος του ήλου δεν θα είναι ομοιόμορφη αλλά θα έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση της σύνδεσης.[40]



Εικόνα 87 – Κατηγορίες κεφαλών [40]

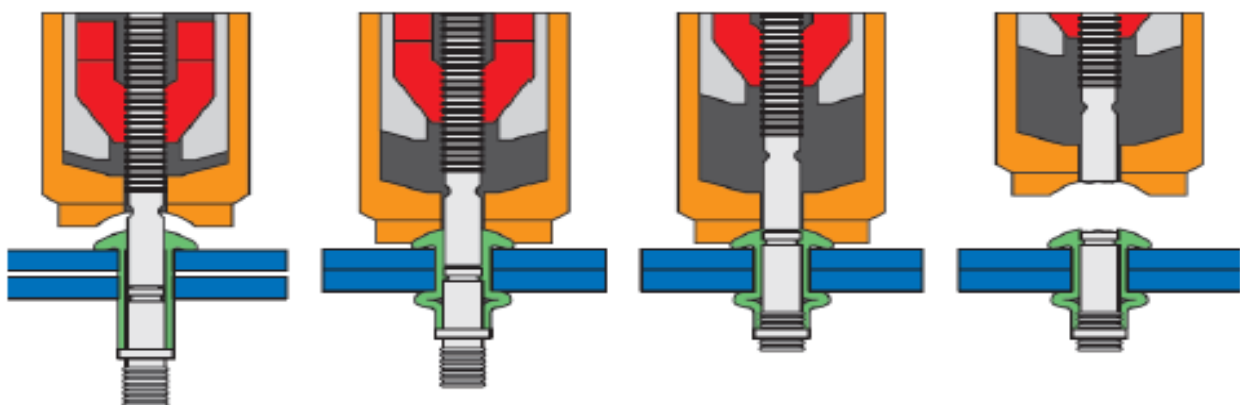
Για τις εφαρμογές υψηλότερων απαιτήσεων αντοχής αλλά και ύπαρξη ισχυρών κραδασμών και δονήσεων έχουν εδραιωθεί διάφορες λύσεις όπου μια από αυτές παρουσιάζεται στην **εικόνα 88**. Ο άξονας έχει περιφερειακά ειδικά σχεδιασμένο σπείρωμα και εφόσον αυτός μετακινηθεί μέχρι το τελικό σημείο η συσκευή εφαρμογής του ήλου συσφίγγει τη κεφαλή του ήλου περιμετρικά του άξονα και τα δύο τμήματα ασφαλιζονται με επιτυχία μέσω της δημιουργίας

αυλακώσεων εσωτερικά της κεφαλής του ήλου οι οποίες καλύπτονται από το σπείρωμα που υπάρχει επί του άξονα ενώ ακολουθεί η περαιτέρω ώθηση του άξονα μέχρι τη θραύση του και η απομάκρυνση του περιττού τμήματος αυτού.[40][Εικόνα 88]



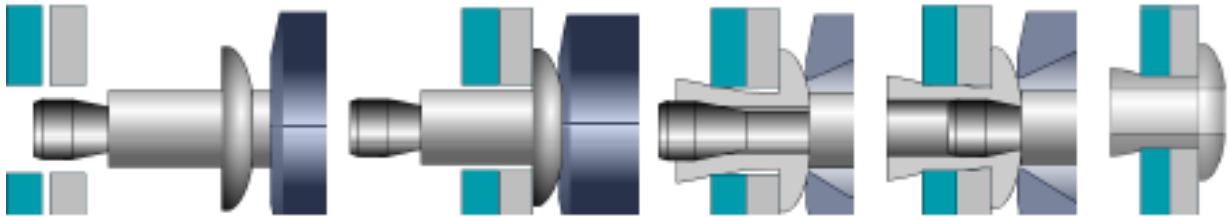
Εικόνα 88 – Βήματα εφαρμογής τυφλού ήλου υψηλής αντοχής [40]

Για την ένωση κομματιών μικρού πάχους όπως λαμαρινοτεμαχίων γίνεται χρήση μιας άλλης μεθόδου όπου η ασφάλιση του άξονα με το σώμα του ήλου επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας μικρής προεξοχής περιφερειακά στο εσωτερικό του σώματος του ήλου η οποία δημιουργείται μέσω της πίεσης του εργαλείου εφαρμογής του ήλου και ευθύνεται στον αύλακα που φέρει ο άξονας σε δεδομένο σημείο. Καθώς ο άξονας ωθείται προς τα πάνω μέσω του εργαλείου παραμορφώνει το κάτω άκρο του σώματος του ήλου ενώ ταυτόχρονα ο αύλακας που φέρει ο άξονας μετακινείται προς τα πάνω και πιο συγκεκριμένα στο εσωτερικό της κεφαλής του ήλου και μέσω της πίεσης του εργαλείου δημιουργείται το απαραίτητο κλείδωμα μεταξύ άξονα και σώματος του ήλου με της παραμόρφωση του εσωτερικού της κεφαλής του ήλου λόγω της ύπαρξης του αύλακα ασφαρίζοντας τη σύνδεση. Τέλος αφού ολοκληρωθεί το κλείδωμα της σύνδεσης ο άξονας συνεχίζει να ωθείται προς τα πάνω μέσω του εργαλείου και σπάει όταν προσεγγισθεί η προκαθορισμένη δύναμη.[40][Εικόνα 89]



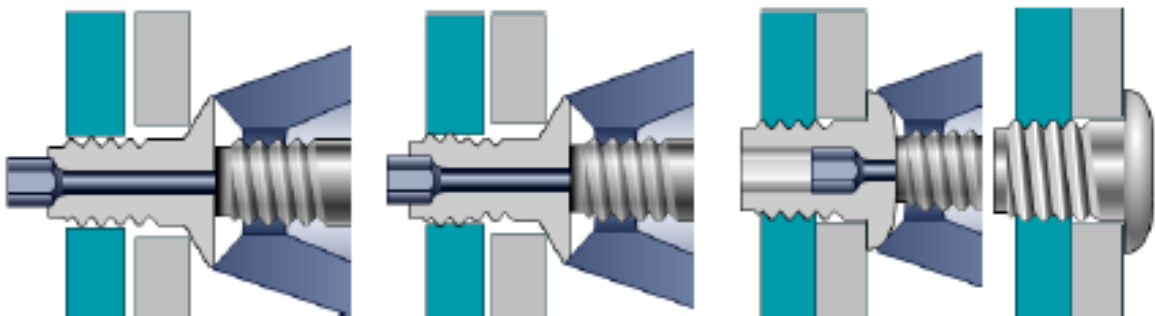
Εικόνα 89 – Βήματα εφαρμογής τυφλού ήλου υψηλής αντοχής για λεπτά τεμάχια [40]

Επίσης σε πιο απαιτητικές κατασκευές γίνεται η χρήση τυφλών ήλων διαμέσου ώθησης όπου ο άξονας του ήλου προσαρμόζεται στο εργαλείο και εφόσον ο ήλος προσαρμοστεί στην οπή στην οποία πρόκειται να γίνει η σύνδεση το εργαλείο έλκει τον άξονα. Ο άξονας έχει μεγαλύτερη διάμετρο στο ελεύθερο άκρο του το οποίο καθώς έλκεται προς το εσωτερικό του σώματος του ήλου το παραμορφώνει ανοίγοντας το και ασφαλίζοντας έτσι τη σύνδεση. Τέλος ο άξονας αποκόπεται μόλις προσεγγισθεί η απαραίτητη δύναμη από το εργαλείο.[40][Εικόνα 90]



Εικόνα 90 – Βήματα εφαρμογής τυφλού ήλου διαμέσου ώθησης [40]

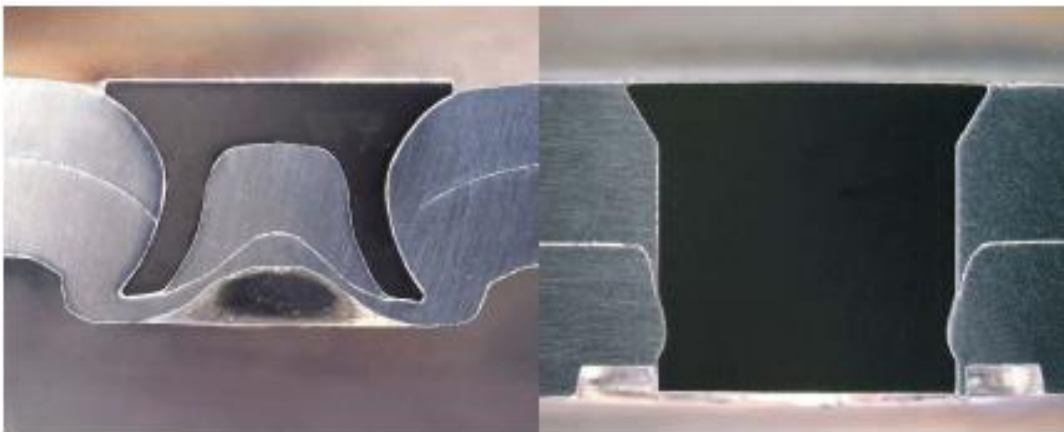
Μια άλλη παραλλαγή της τελευταίας περίπτωσης είναι οι τυφλοί ήλοι διαμέσου ώθησης με την παρουσία σπειρώματος οι οποίοι βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας. Ο άξονας του ήλου προσαρμόζεται στο εργαλείο και ο ήλος τοποθετείται εσωτερικά της οπής ενώ ακολουθεί η έλξη του άξονα του ήλου από το εργαλείο ο οποίος έχει μεγαλύτερη διάμετρο στο ελεύθερο άκρο του επιβάλλοντας έτσι το άνοιγμα του σώματος του ήλου το οποίο διαθέτει ειδικό σπείρωμα στο εξωτερικό του. Εφόσον το σώμα του ήλου διαστέλλεται παραμορφώνει το ένα τεμάχιο λόγω του σπειρώματος κλειδώνοντας έτσι τη σύνδεση ενώ ακολουθεί η θραύση του άξονα απορρίπτοντας το περιττό τμήμα. [40][Εικόνα 91]



Εικόνα 91 – Βήματα εφαρμογής τυφλού ήλου διαμέσου ώθησης με σπείρωμα [40]

4.1.2.2 Αυτό-διάτρητοι ήλοι

Οι αυτό-διάτρητοι ήλοι, σε αντίθεση με τους τυφλούς ήλους, αποτελούνται από μια μόνο διαδικασία κατά την οποία έχουμε την ταυτόχρονη δημιουργία της οπής και την ασφάλιση της σύνδεσης αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι απαιτούν πρόσβαση και από τις δύο πλευρές της περιοχής της σύνδεσης. Υπάρχουν 2 είδη αυτό-διάτρητων ήλων, οι συμπαγείς και οι ημι-σωληνοειδείς, με τους δεύτερους να χρησιμοποιούνται περισσότερο. Η διαφορά μεταξύ τους έγκειται στο γεγονός ότι οι συμπαγείς ήλοι διαπερνούν και τα δύο τεμάχια ενώ στην περίπτωση των ημι-σωληνοειδών ο ήλος διαπερνά το ένα και εισχωρεί στο δεύτερο χωρίς να φτάνει στην κάτω επιφάνεια του δεύτερου τεμαχίου. Στους ημι-σωληνοειδείς ήλους κάτω από την επιφάνεια του δεύτερου τεμαχίου βρίσκεται μια μήτρα της οποίας ο ρόλος είναι να ελέγχει την παραμόρφωση που υφίσταται η κάτω επιφάνεια της σύνδεσης δίνοντας το επιθυμητό σχήμα σε αυτήν και ασφαλίζοντας την σύνδεση.[40][Εικόνα 92]

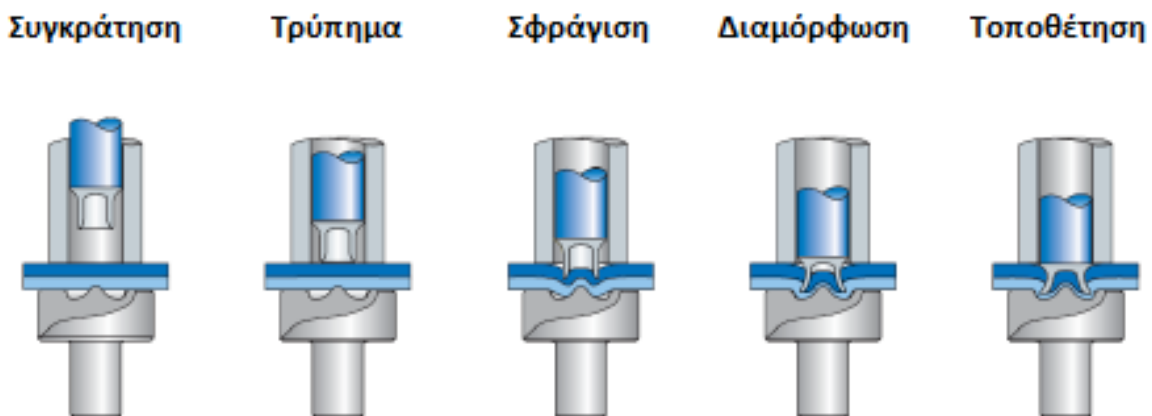


Εικόνα 92 – Αυτό-διάτρητη ήλωση με ημι-σωληνοειδή ήλο (αριστερά) και συμπαγή ήλο (δεξιά) [40]

Αν και υπάρχουν ήλοι από αλουμίνιο συνήθως χρησιμοποιούνται αυτοί από χάλυβα οι οποίοι επιδέχονται γαλβανισμό (επιμεταλλοποίηση) ή επιχρωμίωση ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση γαλβανικής διάβρωσης. Συνήθως η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη ενώ τα εργαλεία εφαρμογής των ήλων ασκούν δυνάμεις που φτάνουν τα 50 KN εξασφαλίζοντας την ευθυγράμμιση του ήλου με τη μήτρα. Η ανωτέρω δύναμη παράγεται από ένα υδραυλικό κύλινδρο ο οποίος κινεί ένα έμβολο το οποίο ωθεί την κεφαλή του ήλου. Το πάχος των τεμαχίων που μπορούν να ενωθούν ανέρχεται σε 6mm για τεμάχια από χάλυβα και 12mm για αλουμινένια ενώ σε κάθε περίπτωση πρέπει να έχουν πάχος μεγαλύτερο από 1,6mm. Επίσης κατά την ένωση διαφορετικών υλικών είναι επιθυμητό ο ήλος να εφαρμόζεται από την πλευρά του λεπτού

τεμαχίου με κατεύθυνση προς το παχύτερο ή από το τεμάχιο με την χαμηλότερη αντοχή προς αυτό με την υψηλότερη.[40]

Στην **εικόνα 93** απεικονίζεται η εφαρμογή ενός αυτό-διάτρητου ημι-σωληνοειδή ήλου με τις επιμέρους διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι τη τελική εφαρμογή του. Εφόσον το εργαλείο προσαρμοστεί στη θέση που πρόκειται να γίνει η σύνδεση συσφίγγοντας τα δύο τεμάχια και αφού ο ήλος τοποθετηθεί στο υδραυλικά κινούμενο έμβολο ο ήλος αρχίζει να μετακινείται προς τα κάτω προσεγγίζοντας την άνω επιφάνεια του πρώτου τεμαχίου. Το έμβολο κινείται σταδιακά προς τα κάτω και μέσω του ήλου επιτυγχάνεται η παραμόρφωση της επιφάνειας του πρώτου τεμαχίου μεταφέροντας αυτήν τη παραμόρφωση και στο δεύτερο τεμάχιο κάτω από το οποίο βρίσκεται η μήτρα με ειδικά διαμορφωμένες κοιλότητες ώστε να ελέγχει την παραμόρφωση της επιφάνειας της σύνδεσης. Ο ήλος εισέρχεται εντός των τεμαχίων διαπερνώντας το πρώτο τεμάχιο και στη συνέχεια εισέρχεται εντός του δεύτερου ενώ τα κάτω άκρα του ήλου ανοίγουν με την παραμόρφωση αυτή να επιτυγχάνεται ώστε να εξασφαλιστεί το κλείδωμα της σύνδεσης μεταξύ των δύο τεμαχίων. Το τελικό αποτέλεσμα της σύνδεσης εξαρτάται από το μήκος του ήλου, την διάμετρο και το βάθος των αυλακώσεων της μήτρας και τέλος από την διάμετρο της κάτω επιφάνειας του ήλου.[40][Εικόνα 93]

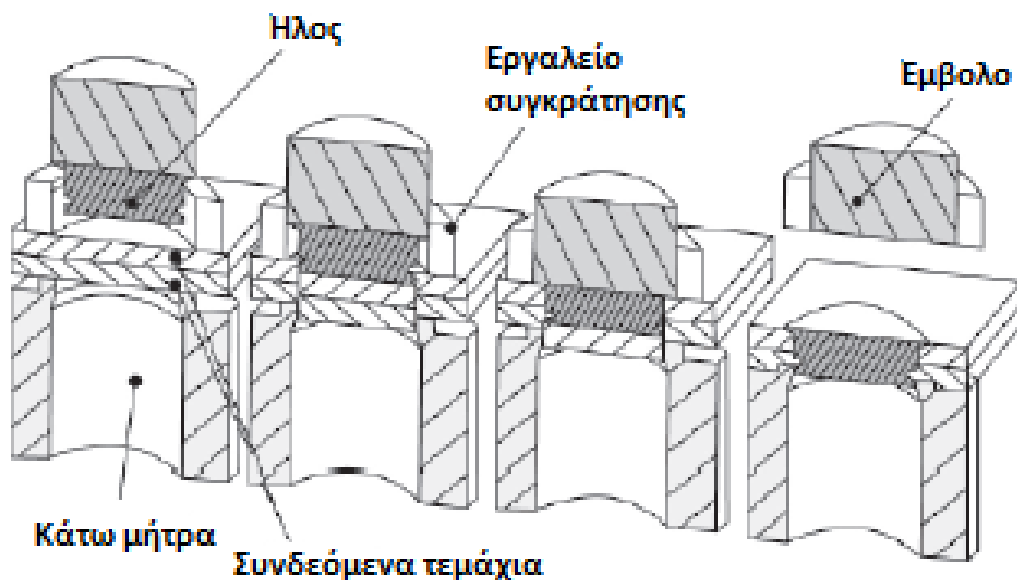


Εικόνα 93 – Διαδικασία τοποθέτησης αυτό-διάτρητου ημι-σωληνοειδή ήλου [40]

Στην **εικόνα 94** απεικονίζεται η εφαρμογή ενός αυτό-διάτρητου συμπαγούς ήλου με τις επιμέρους διαδικασίες που ακολουθούνται μέχρι τη τελική τοποθέτηση του και την ένωση των τεμαχίων. Αρχικά τα δύο τεμάχια συσφίγγονται μεταξύ της μήτρας που βρίσκεται από κάτω και του εργαλείου συμπίεσης το οποίο φέρει το έμβολο μέσω του οποίου πιέζεται ο ήλος. Στην συνέχεια το έμβολο πιέζει τον ήλο ο οποίος ωθεί το υλικό προς αφαίρεση και τοποθετείται επί της οπής που δημιουργείται μεταξύ των τεμαχίων. Η ασφάλιση της σύνδεσης γίνεται με την

βοήθεια αυλακώσεων ή προεξοχών που φέρει ο άξονας του ήλου οι οποίες προξενούν ανάλογη παραμόρφωση στο εσωτερικό της οπής επί των τεμαχίων κλειδώνοντας έτσι την σύνδεση.[40][Εικόνα 94]

Οι συμπαγείς ήλοι μπορούν να τοποθετηθούν με την βοήθεια σταθερών πρεσών, χειροκίνητων ή αυτοματοποιημένων εργαλείων ενώ είναι δυνατή η ένωση τεμαχίων με συνολικό πάχος έως και 9 mm. Ωστόσο η αντοχή τους είναι μικρότερη από αυτή των ημι-σωληνοειδών ενώ το πάχος των ήλων κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 mm και το μήκος μεταξύ 3,5 και 9 mm. Σημαντική διαφορά μεταξύ των συμπαγών ήλων και των ημι-σωληνοειδών είναι ότι οι δεύτεροι δημιουργούν κατά την εφαρμογή τους μια κοιλότητα στο κάτω μέρος της σύνδεσης ενώ οι πρώτοι έχουν επίπεδη επιφάνεια χωρίς προεξοχές.[40]



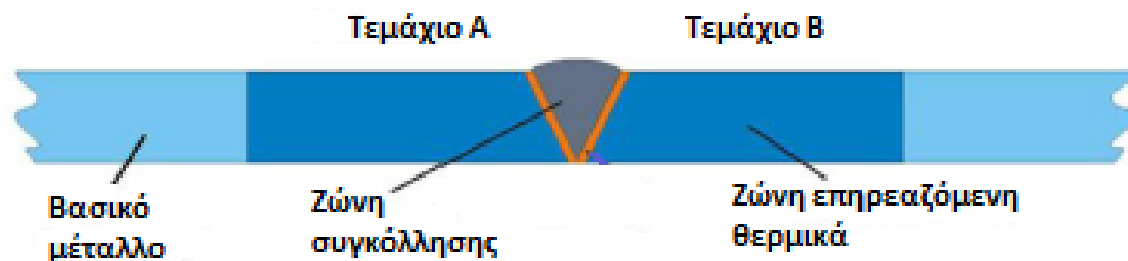
Εικόνα 94 – Διαδικασία τοποθέτησης αυτό-διάτρητου συμπαγούς ήλου [40]

4.1.3 Ένωση με χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης

Η ηλεκτροσυγκόλληση, ως γενική κατηγορία, αποτελεί μια μέθοδο συγκόλλησης κατά την οποία έχουμε την από κοινού τήξη των τεμαχίων προς ένωση όπου δημιουργείται ένα μεταλλικό λουτρό το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται σχηματίζοντας την κόλληση. Είναι μια μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την ένωση κομματιών από αλουμίνιο λόγω της υψηλής απόδοσης της αλλά και αντοχής στη σύνδεση των τεμαχίων. Για να είναι δυνατή η επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων ως προς τις ιδιότητες και την αντοχή της σύνδεσης πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης των

κραμάτων που πρόκειται να ενωθούν, τα χαρακτηριστικά της μεθόδου συγκόλλησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί αλλά και η κατάλληλη προετοιμασία της περιοχής συγκόλλησης.[41]

Η ζώνη συγκόλλησης που δημιουργείται αποτελεί μια περιοχή με τροποποιημένη μικροδομή ενώ το πλάτος αυτής εξαρτάται από τη θερμότητα που παράγεται κατά τη συγκόλληση αλλά και από τη γεωμετρία της σύνδεσης. Η ζώνη συγκόλλησης αποτελείται από λιωμένο μέταλλο και των δύο τεμαχίων και από το επιπρόσθετα χρησιμοποιούμενο υλικό τήξης (ηλεκτροδίο) αν αυτό χρησιμοποιείται. Ως συνέχεια της ζώνης συγκόλλησης λαμβάνει χώρα η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά στην οποία είναι δυνατόν να συμβαίνουν θερμικά ελεγχόμενες διεργασίες στερεάς κατάστασης όπως διεργασίες καθίζησης, ανόπτηση και ανακρυστάλλωση.[41][Εικόνα 95]



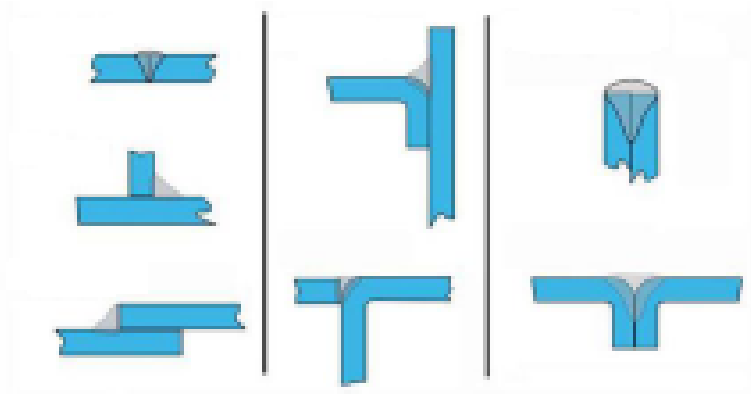
Εικόνα 95 – Περιοχή συγκόλλησης [41]

Κατά την ηλεκτροσυγκόλληση αφότου στερεοποιηθεί η κόλληση είναι δυνατόν να εμφανιστούν ρωγμές οι οποίες οφείλονται στις υψηλές θερμικές τάσεις που δέχεται η ζώνη συγκόλλησης αλλά της θερμικής συστολής κατά την στερεοποίηση. Οι ρωγμές συναντώνται συνήθως κατά την συγκόλληση TIG χωρίς τη χρήση επιπρόσθετα τηκόμενου υλικού (ηλεκτροδίου). Για την αποφυγή λοιπόν των ρωγμών γίνεται χρήση τηκόμενου ηλεκτροδίου το οποίο πρέπει να προσαρμόζεται στη σύνθεση του εκάστοτε κράματος που πρόκειται να συγκολληθεί. Οι κυριότεροι τύποι ηλεκτροδίων είναι κράματα αλουμινίου με περιεκτικότητα 5% σε μαγνήσιο ή 5% σε πυρίτιο. Στην πρώτη περίπτωση επιτρέπει την επίτευξη της βέλτιστης αντοχής της σύνδεσης ενώ στη δεύτερη της βέλτιστης αντίστασης στην εμφάνιση ρωγμών κατά την στερεοποίηση.[41][Εικόνα 96]



Εικόνα 96 – Συγκόλληση TIG με τηκόμενο ηλεκτρόδιο (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) [41]

Κατά την διάρκεια της συγκόλλησης το λουτρό στη ζώνη συγκόλλησης πρέπει να προστατεύεται από την επίδραση της ατμόσφαιρας. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση προστατευτικών αερίων τα οποία έχουν ως επιπρόσθετο ρόλο την διατήρηση της σταθερότητας του τόξου. Το πιο σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του προστατευτικού αερίου αποτελεί η θερμική αγωγιμότητα του και για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί η χρήση του αργού και του ήλιου για τη συγκόλληση τεμαχίων αλουμινίου τα οποία σε μερικές περιπτώσεις συνδυάζονται. Το ήλιο, σε σύγκριση με το αργό, προσφέρει υψηλότερη συγκέντρωση της θερμότητας και υψηλότερο ρυθμό τήξης αλλά παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας και η μικρότερη σταθερότητα του τόξου ενώ λόγω της μικρότερης πυκνότητας του απαιτεί υψηλότερο ρυθμό παροχής σε σχέση με το αργό. Λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης θερμότητας που προσφέρει το ήλιο έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη βαθύτερης και ευρύτερης τήξης (ζώνη συγκόλλησης).[41]



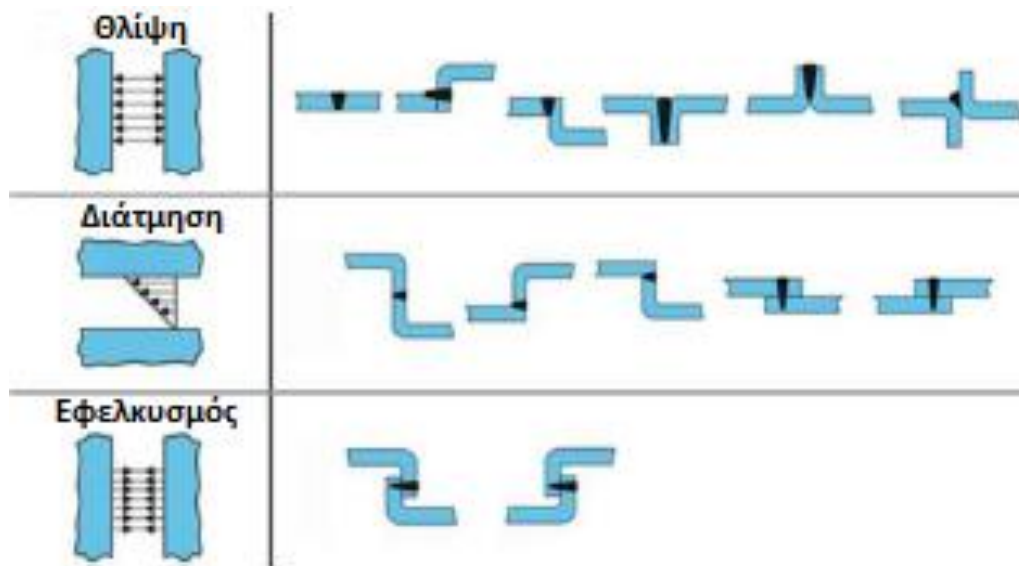
Εικόνα 97 – Είδη συγκολλήσεων [41]

Η επιλογή της κατάλληλης μορφής της συγκόλλησης εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες οι οποίοι είναι οι εξής[41]:

- 1) Πάχος υλικού
- 2) Προσβασιμότητα στη περιοχή σύνδεσης
- 3) Θέση της συγκόλλησης
- 4) Τάσεις που δέχεται η περιοχή της σύνδεσης

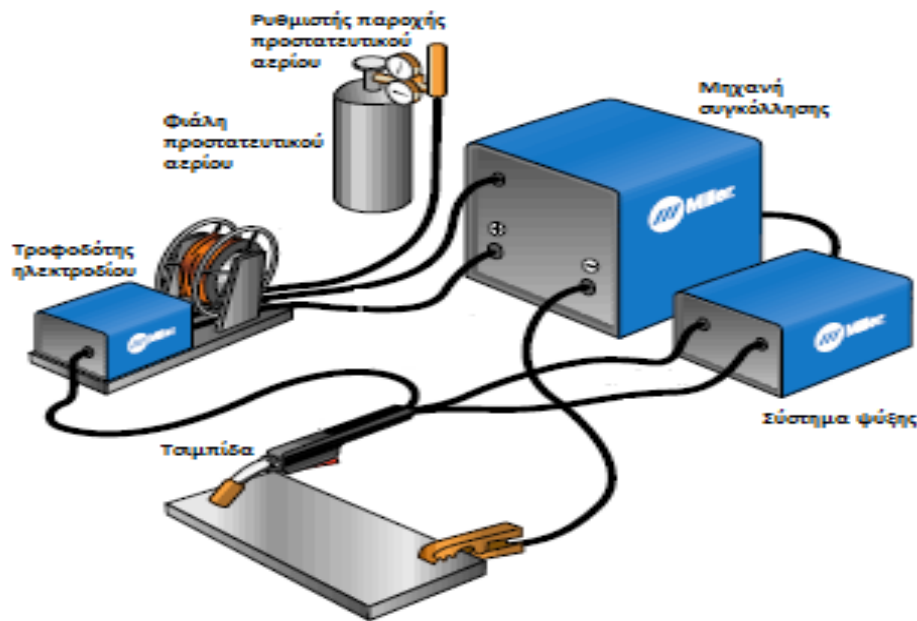
Ανάλογα με το είδος των φορτίων που δέχεται η εκάστοτε περιοχή συγκόλλησης υπάρχει η βέλτιστη διαμόρφωση αυτής ώστε να βελτιστοποιείται η αντοχή της σύνδεσης. (Εικόνα 98) Επίσης πέρα από το είδος των φορτίων που δέχεται η συγκολλημένη περιοχή είναι σημαντική και η προστασία της από την εμφάνιση παραμορφώσεων κατά τη στερεοποίηση οι οποίες αντιμετωπίζονται με τους εξής τρόπους[41]:

- 1) Όσο το δυνατόν χαμηλότερη εισροή θερμότητας στη περιοχή της κόλλησης
- 2) Επιδίωξη για την διαμόρφωση συμμετρικής συγκόλλησης
- 3) Όσο το δυνατόν μικρότερη συγκόλληση
- 4) Όσο το δυνατόν υψηλότερη ταχύτητα συγκόλλησης
- 5) Αν είναι δυνατόν, η συγκόλληση να ξεκινά από το κέντρο της κατασκευής και να συνεχίζει συμμετρικά προς τα άκρα



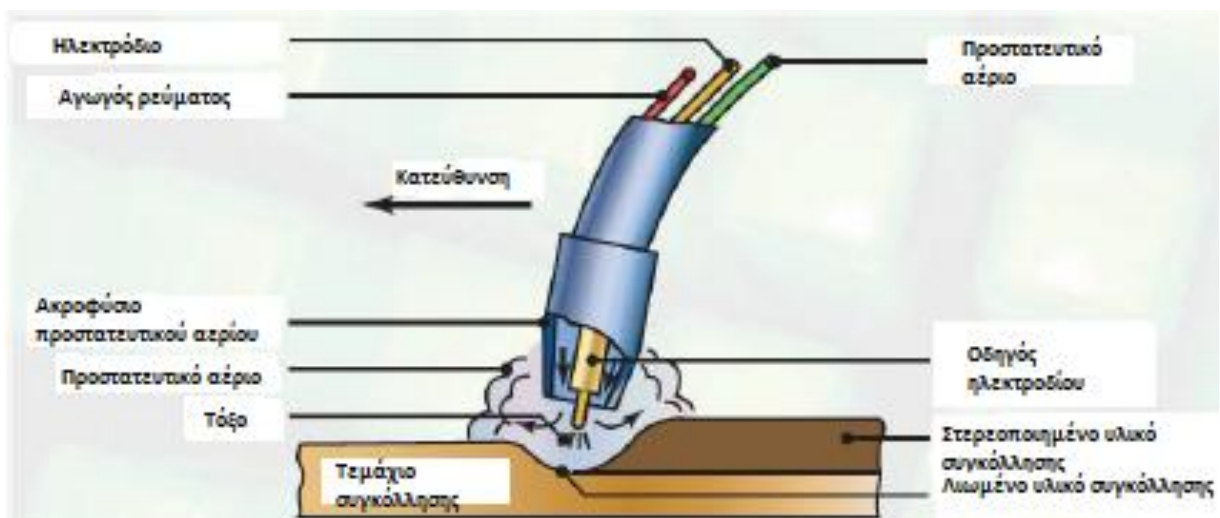
Εικόνα 98 – Επιλογή μορφής συγκόλλησης ανάλογα με το είδος της φόρτισης [41]

4.1.3.1 Ηλεκτροσυγκόλληση MIG



Εικόνα 99 – Επιμέρους εξαρτήματα ηλεκτροσυγκόλλησης MIG [42]

Η ηλεκτροσυγκόλληση MIG ορίζεται ως μια ημι-αυτοματοποιημένη ή αυτοματοποιημένη μέθοδος συγκόλλησης όπου ένα μεταλλικό σύρμα που τροφοδοτείται συνεχώς λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο και ως πρόσθετο υλικό τήξης ενώ η συγκόλληση επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου μεταξύ του ηλεκτροδίου και του προς συγκόλληση μετάλλου. Για την συγκόλληση αλουμινίου χρησιμοποιείται συνήθως συνεχές ρεύμα με το ηλεκτρόδιο να συνδέεται στον θετικό ακροδέκτη.[42]



Εικόνα 100 – Σχηματική αναπαράσταση συγκόλλησης MIG [42]

Μεταξύ των διάφορων μεθόδων συγκόλλησης τόξου, η συγκόλληση MIG θεωρείται ως η καταλληλότερη για την συγκόλληση αλουμινίου ενώ χρησιμοποιείται συνήθως στη κύρια δομή του αμαξώματος αλλά και όταν θεωρείται απαραίτητο στην συγκόλληση λεπτότερων τεμαχίων όπως φύλλων αλουμινίου.[35]



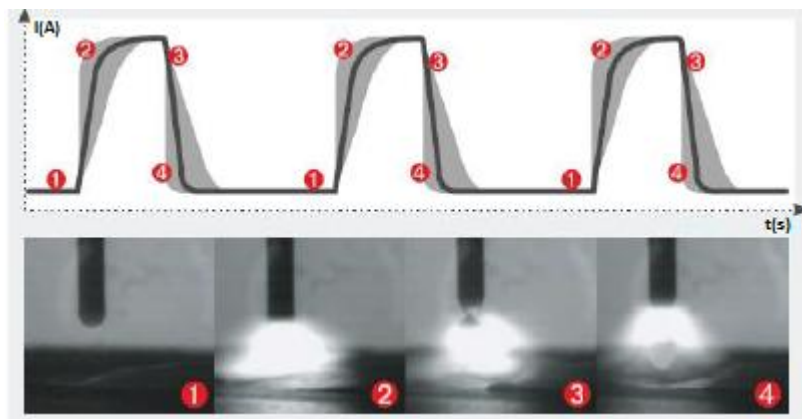
Εικόνα 101 – Αυτοματοποιημένη συγκόλληση MIG [35]

Η εφαρμογή της συγκόλλησης MIG γίνεται κατά την ένωση δομικής σημασίας τεμαχίων διαμορφωμένων μέσω εξώθησης αλλά και χυτά κομμάτια στον σκελετό του αμαξώματος εφόσον αυτά αποτελούνται από αλουμίνιο ενώ σε μερικές περιπτώσεις η εφαρμογή της επεκτείνεται με τον ανωτέρω όρο σε λαμαρινοτεμάχια τα οποία προσαρμόζονται στον σκελετό. Επιβεβλημένη θεωρείται η χρήση της συγκόλλησης MIG για την συναρμολόγηση του πατώματος (εικόνα 53) του πλαισίου το οποίο φέρει και τα μεγαλύτερα φορτία και σχεδόν πάντα αποτελείται από τεμάχια κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό ώστε να είναι δυνατή η ηλεκτροσυγκόλληση τους.[38]

Επίσης, κατά την συναρμολόγηση των θυρών, ανάλογα με τη διαμόρφωση τους και τα υλικά από τα οποία αποτελούνται, η χρήση της συγκόλλησης MIG είναι εκτενής κατά την ένωση των επιμέρους τεμαχίων της πόρτας εφόσον αυτά είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο.[31]

Η ένταση του ρεύματος της συγκόλλησης, το μήκος του τόξου αλλά και η ταχύτητα τροφοδοσίας του ηλεκτροδίου ρυθμίζονται από την μηχανή συγκόλλησης μέσω του χειριστή. Η τροφοδοσία του σύρματος επιτυγχάνεται μέσω ενός οδηγού εντός της μηχανής συγκόλλησης ή σε μερικές περιπτώσεις μέσω εξωτερικής μονάδας τροφοδοσίας. Το ρεύμα συγκόλλησης μεταφέρεται από την μηχανή συγκόλλησης στην τσιμπίδα και πιο συγκεκριμένα στο ηλεκτρόδιο

και από αυτό στο τόξο ενώ συνεχίζει διαπερνώντας το τεμάχιο συγκόλλησης και επιστρέφει στη μηχανή συγκόλλησης. Η παροχή του προστατευτικού αερίου ρυθμίζεται από ειδικό μηχανισμό ο οποίος βρίσκεται στη πάνω πλευρά της φιάλης στην οποία αποθηκεύεται αυτό και οδηγείται στην τσιμπίδα μέσω σωληνώσεων από όπου και εξέρχεται όπου οδηγείται στη περιοχή συγκόλλησης. Ο ρόλος της συσκευής ψύξης είναι αυτός της διατήρησης σε κανονικά επίπεδα θερμοκρασίας του ηλεκτροδίου πριν αυτό εξέλθει από την τσιμπίδα ώστε να αποφεύγεται ανεπιθύμητη τήξη ή αλλοίωση της μορφής του πριν τη χρήση του ενώ λειτουργεί με νερό το οποίο κυκλοφορεί εντός της τσιμπίδας.[42]



Εικόνα 102 – Εναλλαγή παλμών κατά τη παλμική ηλεκτροσυγκόλληση MIG [42]

Για την ανάγκη εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις έχουν αναπτυχθεί διάφορες επιμέρους μέθοδοι συγκόλλησης οι οποίες αποτελούν σύγχρονες βελτιωμένες εκδοχές της παραδοσιακής ηλεκτροσυγκόλλησης MIG. Μια από αυτές είναι η παλμική ηλεκτροσυγκόλληση MIG η οποία έχει ως χαρακτηριστικό την ελεγχόμενη μεταφορά υλικού. Η παλμική συγκόλληση MIG διατηρεί ένα τόξο με χαμηλή ένταση ρεύματος ενώ στέλνει μικρής διάρκειας παλμούς αυξομειούμενης συχνότητας από 30 έως 300 Hz και υψηλής έντασης ρεύματος ώστε να επιτευχθεί τήξη του ηλεκτροδίου και να μεταφερθούν μερικές σταγόνες στο λουτρό της συγκόλλησης. Ένας ελεγχόμενος παλμός ρεύματος υψηλής ακριβείας μεταφέρει τη θερμότητα ώστε να επέλθει τήξη του ηλεκτροδίου και τη μεταφορά μόνο ενός τετηγμένου σταγονιδίου για κάθε παλμό. Η μείωση της συνολικής εισροής θερμότητας στη περιοχή συγκόλλησης μειώνει το μέγεθος του λουτρού συγκόλλησης και της ζώνης που επηρεάζεται θερμικά.[42]



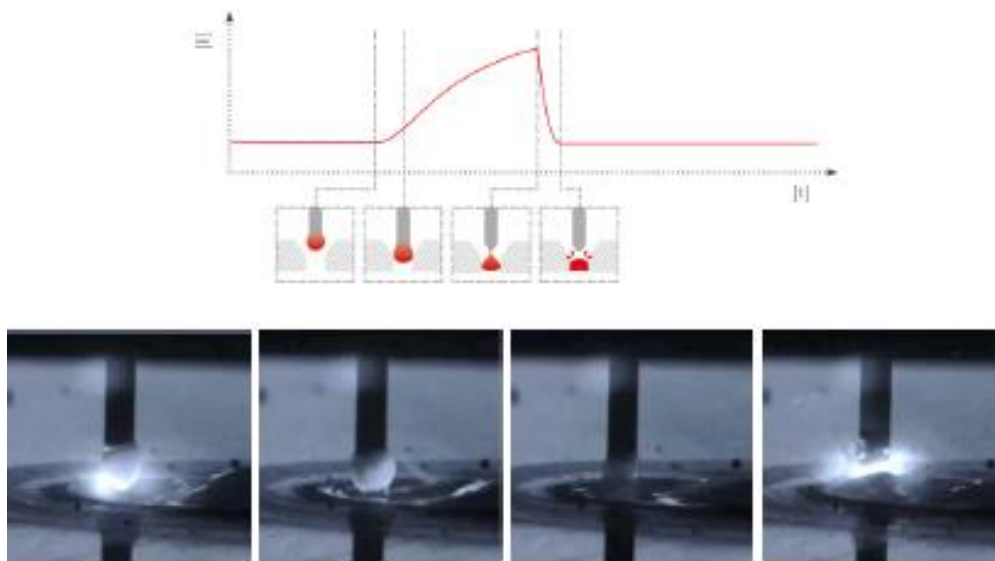
Εικόνα 103 – Συγκόλληση μεσαίας κολώνας με την οροφή μέσω αυτοματοποιημένης παλμικής ηλεκτροσυγκόλλησης MIG [42]

Η παλμική ηλεκτροσυγκόλληση MIG παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής μεθόδου όπως μικρότερη παραμόρφωση του τεμαχίου λόγω του μικρότερου ποσού θερμότητας που μεταφέρεται στη ζώνη συγκόλλησης ενώ το λουτρό έχει μικρότερο μέγεθος. Το τελευταίο έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ευελιξία ως προς τη συγκόλληση καθιστώντας δυνατή τη συγκόλληση σε όλες τις επιθυμητές θέσεις.[42]

Η παλμική ηλεκτροσυγκόλληση MIG είναι δυνατόν να λειτουργεί και με εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά η εφαρμογή της είναι πολύ περιορισμένη. Κατά την λειτουργία της με εναλλασσόμενο ρεύμα οι παλμοί που εφαρμόζονται είναι δυνατόν να προέρχονται είτε από τον θετικό πόλο είτε από τον αρνητικό ενώ κυμαίνονται σε ένα εύρος συχνοτήτων από 50 έως και 400 Hz. Στην πρώτη περίπτωση η μεταφορά θερμότητας στη περιοχή συγκόλλησης είναι υψηλή ενώ στη δεύτερη είναι χαμηλότερη και η τήξη του ηλεκτροδίου είναι καλύτερη. Γενικά, το μειωμένο ποσό θερμότητας που εισέρχεται στη σύνδεση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των παραμορφώσεων του κομματιού ενώ είναι δυνατή η συγκόλληση λεπτότερων τεμαχίων. Έτσι είναι δυνατόν να ελέγχεται με βέλτιστο τρόπο ο ρυθμός εναπόθεσης υλικού και οι συνθήκες συγκόλλησης μεταξύ του βασικού υλικού και του ηλεκτροδίου. Συγκριτικά με την παλμική ηλεκτροσυγκόλληση MIG συνεχούς ρεύματος, αυτή που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα έχει ραφές του ίδιου ύψους και πλάτους ενώ δεν υπάρχουν ορατές ατέλειες επί της επιφάνειας κόλλησης.[42]

Πέρα από την προηγούμενη τεχνολογία έχει αναπτυχθεί και η τεχνολογία εμβάπτισης κατά την οποία έχουμε χαμηλότερη μεταφορά θερμότητας στη σύνδεση σε σύγκριση με τις προηγούμενες τεχνολογίες καθιστώντας την ιδανική για τη συγκόλληση λεπτών φύλλων αλουμινίου ενώ αποτρέπεται η δημιουργία ρωγμών κατά τη στερεοποίηση του υλικού. Κατά τη συγκόλληση

MIG τύπου εμβάπτισης η λιωμένη άκρη του ηλεκτροδίου έρχεται σε επαφή με το λουτρό προκαλώντας βραχυκύκλωμα το οποίο με τη σειρά του αυξάνει τη ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που περιβάλλει το ηλεκτρόδιο και δημιουργείται έτσι μια δύναμη η οποία διαχωρίζει το τηγμένο τμήμα του ηλεκτροδίου από το υπόλοιπο ηλεκτρόδιο. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η ύπαρξη σε μεγάλο ποσοστό εκτοξεύσεων σταγόνων λιωμένου μετάλλου κατά τη φάση της μεταφοράς τους στο λουτρό το οποίο εξαρτάται από τον ρυθμό αύξησης της έντασης του ρεύματος κατά την φάση μεταφοράς των σταγόνων.[42] [Εικόνα 104]



Εικόνα 104 – Ηλεκτροσυσγκόλληση MIG με τεχνολογία εμβάπτισης[42]

Εξίσου αποδοτική είναι και η ηλεκτροσυσγκόλληση MIG διπλού ηλεκτροδίου η οποία συνδυάζει δύο επιμέρους ηλεκτρόδια. Τα δύο αυτά ηλεκτρόδια είναι ηλεκτρικά μονωμένα μεταξύ τους ενώ τροφοδοτούνται συνεχώς μέσω ειδικής τσιμπίδας και τήκονται ταυτόχρονα στο ίδιο λουτρό. Η διάμετρος τους είναι δυνατόν να διαφέρει όπως και ένταση ρεύματος που διαρρέει το καθένα αφού τροφοδοτούνται από ξεχωριστή πηγή ρεύματος ενώ μπορούν να βρίσκονται σε οποιαδήποτε γωνία μεταξύ τους ώστε να επιτυγχάνεται ο ακριβής έλεγχος της συνδυαστικής σταγόνας που μεταφέρεται στο λουτρό αλλά και της πλήρωσης του διακένου μεταξύ των προς συγκόλληση τεμαχίων. Η ηλεκτροσυσγκόλληση MIG διπλού ηλεκτροδίου απαιτεί τον ακριβή έλεγχο της τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να επιτυγχάνεται η σταθερή λειτουργία των δύο ανεξάρτητων τόξων που συνυπάρχουν σε πολύ κοντινή απόσταση των οποίων το μήκος ελέγχεται χωριστά. Αν και τα δύο τόξα ελέγχονται ξεχωριστά, είναι πιθανή η δημιουργία ενός σταθερού ενιαίου τόξου το οποίο επιτρέπει την άμογη μεταφορά των σταγόνων του τηγμένου μετάλλου στο λουτρό χωρίς ανεπιθύμητες εκτοξεύσεις λιωμένου μετάλλου. Επίσης, το λουτρό το

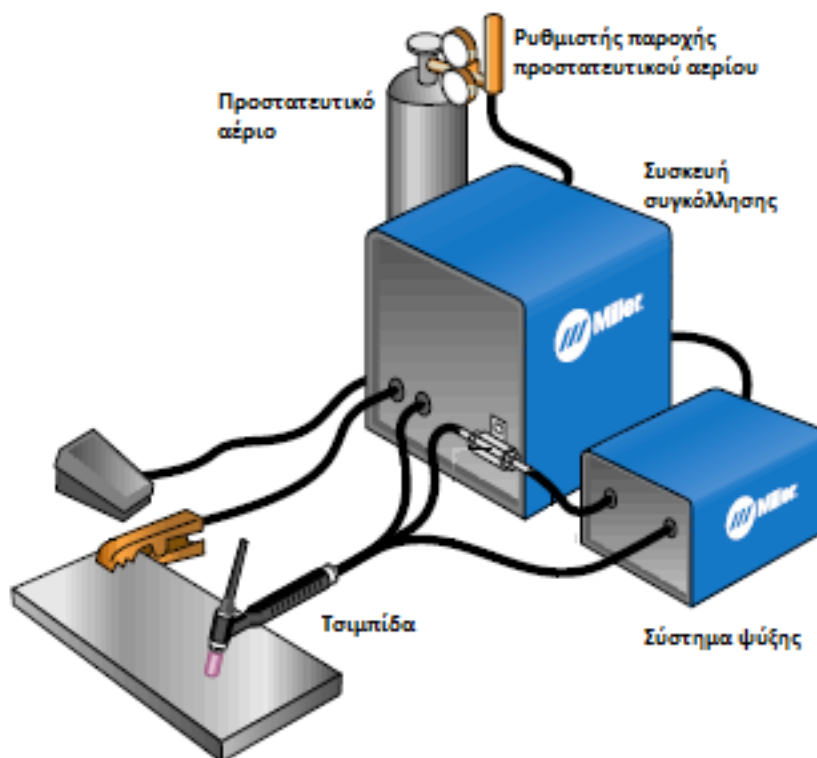
οποίο έχει μεγάλη σχετικά επιφάνεια λόγω των δύο επιμέρους ηλεκτροδίων έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ταχύτητα συγκόλλησης. Το πρώτο ηλεκτρόδιο εν σειρά αναφέρεται ως οδηγός και το δεύτερο ως ακολουθούμενο με τον ρόλο του πρώτου να είναι η εξασφάλιση της πλήρους τήξης του τεμαχίου συγκόλλησης ενώ του δεύτερου ο έλεγχος του λουτρού και η σωστή μεταφορά των λιωμένων σταγόνων.[42] [Εικόνα 105]



Εικόνα 105 – Ηλεκτροσυγκόλληση MIG διπλού ηλεκτροδίου[42]

4.1.3.2 Ηλεκτροσυγκόλληση TIG

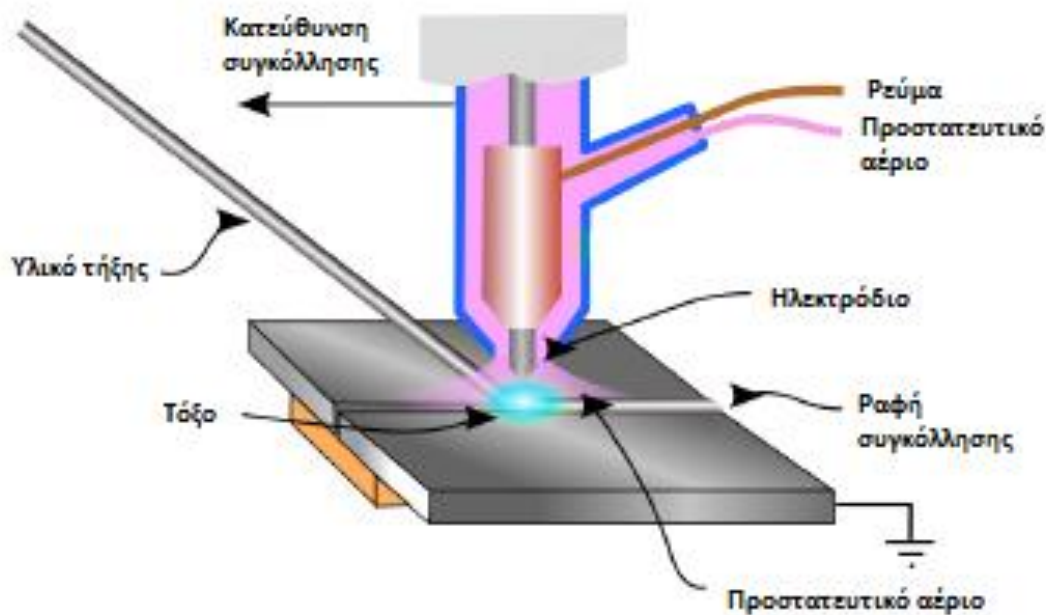
Η ηλεκτροσυγκόλληση TIG αποτελεί μια μέθοδο συγκόλλησης τόξου κατά την οποία το ηλεκτρόδιο είναι μη τηκόμενο αλλά χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και διατήρηση του τόξου. Το ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από βολφράμιο ενώ το περιβάλλον συγκόλλησης προστατεύεται μέσω της χρήσης προστατευτικών αερίων όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο MIG, δηλαδή αργό και ήλιο αλλά και συνδυασμό αυτών. Η ηλεκτροσυγκόλληση TIG χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της συνήθως συνεχές ρεύμα ενώ είναι δυνατή και η λειτουργία της και με εναλλασσόμενο ρεύμα όπου το δεύτερο είναι και το καταλληλότερο για την ένωση τεμαχίων από αλουμίνιο. Για την ένωση τεμαχίων από αλουμίνιο με τη χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος το μέγιστο πάχος των τεμαχίων που μπορούν να συγκολληθούν ορίζεται στα 7mm. Παρόλο της αποδοτικότητας της έχει αντικατασταθεί στις περισσότερες εφαρμογές από την MIG λόγω κυρίως της υστέρησης σε ταχύτητα συγκόλλησης κατά την ένωση λεπτών κυρίως τεμαχίων.[42]



Εικόνα 106 – Επιμέρους εξαρτήματα ηλεκτροσυγκόλλησης TIG [42]

Μεταξύ του ηλεκτροδίου και του τεμαχίου συγκόλλησης το τόξο διαμορφώνεται σε μια αδρανή ατμόσφαιρα και μεταφέρει την απαραίτητη θερμότητα για τη τήξη του μετάλλου και τη δημιουργία της κόλλησης. Το προστατευτικό αέριο ρέει μέσω μιας οπής στη τσιμπίδα η οποία βρίσκεται δίπλα στο ηλεκτρόδιο και κατευθύνεται προς το λουτρό με σκοπό τη αποφυγή της εισχώρησης του ατμοσφαιρικού αέρα εντός του τόξου συγκόλλησης. Η χρήση πρόσθετου υλικού τήξης θεωρείται απαραίτητη για την συγκόλληση τεμαχίων από κράματα του αλουμινίου για την αποφυγή δημιουργίας ρωγμών κατά την στερεοποίηση ενώ μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις δεν γίνεται χρήση πρόσθετου υλικού τήξης όπως για παράδειγμα σε συνδέσεις που έχουν μηδαμινό διάκενο μεταξύ τους και είναι κατάλληλα προετοιμασμένες.[42]

Το άναμμα του τόξου επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της δημιουργίας ηλεκτρικού σπινθήρα στο ηλεκτρόδιο ο οποίος δημιουργείται μέσω της συσκευής συγκόλλησης η οποία στέλνει στιγμιαία μια υψηλή τάση στο ηλεκτρόδιο και μέσω του προστατευτικού αερίου το οποίο λειτουργεί ως αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος επιτυγχάνεται το άναμμα του τόξου. Εναλλακτικά ο σπινθήρας μπορεί να δημιουργηθεί με σύρσιμο του ηλεκτροδίου επί του τεμαχίου το οποίο όμως μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στην επιφάνεια του τεμαχίου.[42]

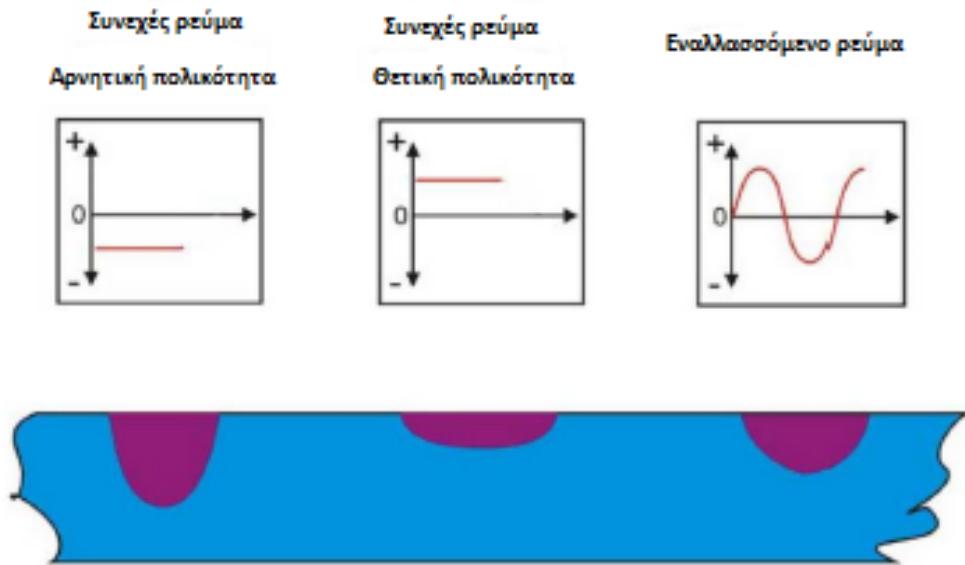


Εικόνα 107 – Ηλεκτροσυγκόλληση TIG [42]

Τα ηλεκτρόδια από βολφράμιο χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά λόγω της υψηλής αντοχής τους στις υψηλές θερμοκρασίες με ελάχιστη τήξη ή φθορά ενώ παράγονται μέσω κωνιομεταλλουργίας και παίρνουν τη επιθυμητή μορφή τους μέσω πυροσυσσωμάτωσης όπου αφού συμπιεστούν θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Επίσης τα ηλεκτρόδια βολφραμίου περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως οξείδια μετάλλων σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 1 και 4 % τα οποία είναι συνήθως λανθάνιο, δημήτριο ή ζirkόνιο και σκοπός τους είναι η βελτίωση του ανάμματος του τόξου, αυξάνει την σταθερότητα του τόξου αλλά και την διάρκεια ζωής του ηλεκτροδίου.[42]

Η μορφή του λουτρού και της ραφής της συγκόλλησης επηρεάζεται άμεσα από τον είδος του ρεύματος και της πολικότητας του ηλεκτροδίου. Υπάρχουν διαθέσιμες τρεις δυνατές επιλογές ως προς τη πολικότητα και το είδος του ρεύματος οι οποίες είναι οι εξής[42] [Εικόνα 108]:

- 1) Συνεχές ρεύμα με το ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο όπου έχουμε βαθειά τήξη
- 2) Συνεχές ρεύμα με το ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο στον θετικό πόλο όπου έχουμε τήξη μικρού βάθους
- 3) Και εναλλασσόμενο ρεύμα όπου έχουμε μέτριου βάθους τήξη

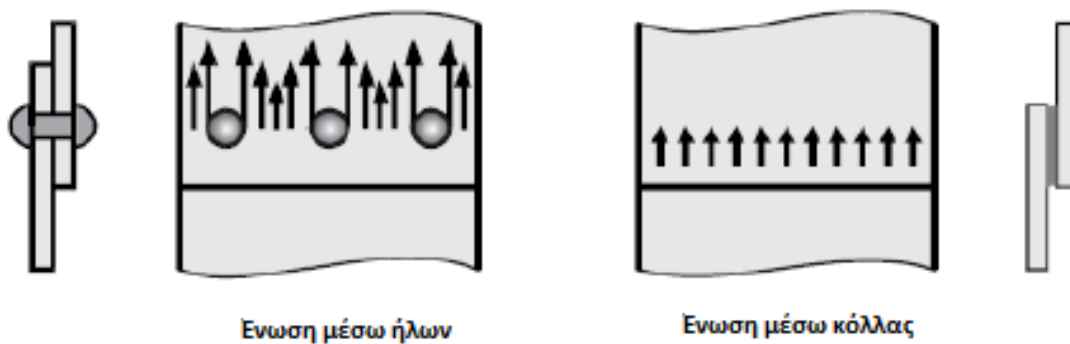


Εικόνα 108 – Μέθοδοι λειτουργίας και βάθος τήξης κατά την συγκόλληση TIG [42]

4.2. Σύγκριση μεθόδων-πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Σε μη δομικής σημασίας περιοχές και γενικότερα σε τεμάχια με μικρό πάχος γίνεται χρήση κόλλας λόγω της εξοικονόμησης μάζας αφού η κόλλα έχει πολύ χαμηλή μάζα σε σύγκριση με την χρήση ήλων όπου οι ήλοι αυξάνουν τη συνολική μάζα της κατασκευής. Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης κόλλας είναι η δυνατότητα ένωσης τεμαχίων από διαφορετικό υλικό όπως αλουμίνιο με χάλυβα αφού προηγηθεί κατάλληλη προετοιμασία των επιφανειών ώστε να προσαρμοστεί η κόλλα με σημαντικό πλεονέκτημα την απουσία φαινομένων διάβρωσης μεταξύ αυτών. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της ένωσης με χρήση κόλλας, σε σύγκριση με την ηλεκτροσυγκόλληση, είναι ότι η εφαρμογή της κόλλας δεν επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού που συνδέεται στη περιοχή της σύνδεσης αφού δεν έχουμε τήξη του υλικού. Επίσης η ομοιόμορφη διανομή της τάσης στην επιφάνεια ένωσης με κόλλα είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα το οποίο συνεισφέρει στην αύξηση της αντοχής της σύνδεσης. Πέρα από τα προηγούμενα, η ένωση με χρήση κόλλας έχει το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατή η συγκόλληση υλικών με διαφορετική θερμική διαστολή, εφόσον η διαφορά αυτής μεταξύ των δύο υλικών δεν είναι δραματικά μεγάλη, ενώ η κόλλα λειτουργεί και ως μονωτικό ως προς τη μεταφορά θερμότητας αλλά και ηλεκτρισμού μεταξύ των υλικών που ενώνονται. Η αόρατη μορφή της κόλλας προσθέτει ένα επιπλέον πλεονέκτημα στα προηγούμενα αφού δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι επιτρέποντας τη εφαρμογή της σε περιοχές του αμαξώματος όπου απαιτείται υψηλή αισθητική.[39]

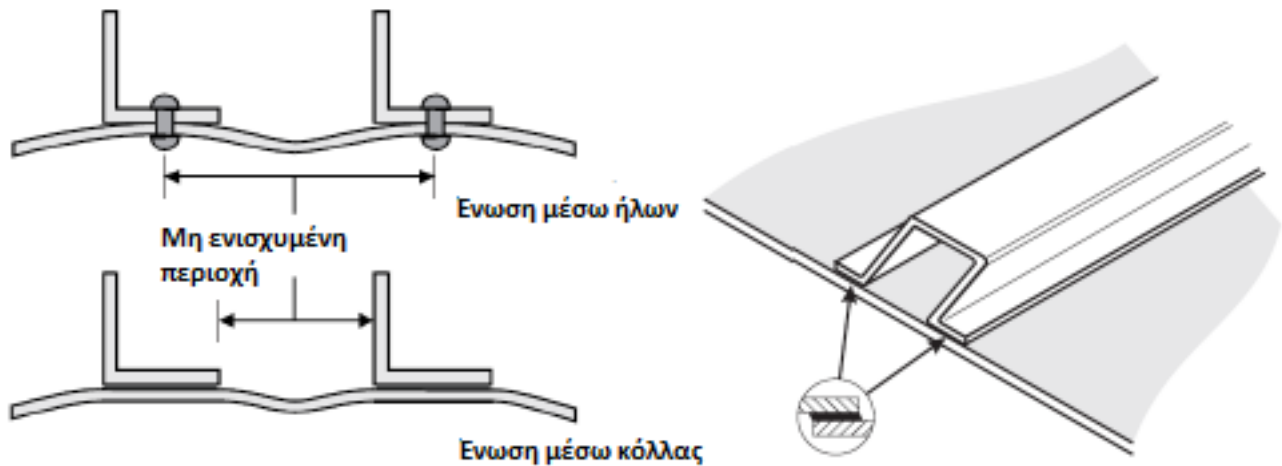
Κατά την χρήση κόλλας δεν υπάρχουν οπές ή άλλες διαφοροποιήσεις στην διατομή των τεμαχίων που να απαιτούνται για την πραγματοποίηση της ένωσης αλλά η εφαρμογή της κόλλας γίνεται σε ομοιόμορφη επιφάνεια και κατά μήκος της σύνδεσης αποτρέποντας την ύπαρξη υψηλών τάσεων σε τυχόν διαφοροποιήσεις της διατομής. Σε αντίθεση με τη χρήση κόλλας, οι ήλοι εφαρμόζονται ανά μικρά διαστήματα μεταξύ των οποίων η τάση είναι σχετικά χαμηλή ενώ στα σημεία τοποθέτησης, λόγω της μείωσης της επιφάνειας της διατομής εξαιτίας της ύπαρξης του ήλου, η τάση αυξάνεται τοπικά αποτελώντας πιθανά σημεία για τη θραύση του εκάστοτε τεμαχίου.[39] [Εικόνα 109]



Εικόνα 109 – Διανομή τάσεων κατά την ένωση μέσω ήλων και μέσω κόλλας [39]

Επίσης κατά την ενίσχυση φύλλων αλουμινίου μέσω της τοποθέτησης δοκών κατά το μήκος τους το όφελος που υπάρχει κατά την ένωση των δοκών με το φύλλο είναι μεγαλύτερη κατά τη χρήση κόλλας σε σύγκριση με την ένωση μέσω ήλων αφού η περιοχή που δεν ενισχύεται είναι μικρότερη κατά την χρήση ήλων.[39] [Εικόνα 110]

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της ένωσης με χρήση κόλλας είναι ότι η κόλλα απαιτεί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να στερεοποιηθεί και να αποκτήσει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της διαδικασίας συναρμολόγησης του αμαξώματος το οποίο και αντιμετωπίζεται μέσω της συνδυαστικής χρήσης κόλλας μαζί με ήλους για την υποστήριξη της περιοχής που προβλέπεται να πραγματοποιηθεί η ένωση μέχρι η κόλλα να αποκτήσει τη προβλεπόμενη αντοχή με την ύπαρξη των ήλων να βελτιώνουν περαιτέρω την συνολική αντοχή της σύνδεσης.[39]



Εικόνα 110 – Διαφορές στην ενίσχυση φύλλων αλουμινίου κατά την ένωση μέσω ήλων και μέσω κόλλας [39]

Οι ήλοι που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές οχημάτων όπου υπάρχει πρόσβαση από τη μια μόνο πλευρά της σύνδεσης είναι κυρίως οι τυφλοί ήλοι ενώ σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση προτιμούνται οι αυτό-διάτρητοι. Γενικότερα οι ήλοι παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των μεθόδων ηλεκτροσυγκόλλησης όπως ταχύτατη και εύκολη εφαρμογή, δυνατότητα ένωσης τεμαχίων διαφορετικών υλικών, μικρή επίδραση στην επιφάνεια τεμαχίων τα οποία έχουν υποστεί προηγουμένως κάποια επεξεργασία ή βαφή, δεν υπάρχει μετάδοση θερμότητας στη σύνδεση, απόσβεση κραδασμών και θορύβου κατά τη λειτουργία της σύνδεσης και τέλος δεν υπάρχουν θερμικές διαστολές λόγω της απουσίας υψηλών θερμοκρασιών. Συγκριτικά με τις μεθόδους ηλεκτροσυγκόλλησης, και κυρίως την μέθοδο MIG η οποία είναι και η πιο χρησιμοποιούμενη από αυτές, οι ήλοι παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μη συνεχόμενης σύνδεσης όπως συμβαίνει κατά την ηλεκτροσυγκόλληση όπου η ραφή, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, είναι συνεχόμενη το οποίο συμβάλλει στην αποφυγή της ύπαρξης υψηλών τάσεων αλλά διαμορφώνει μια συνεχόμενη σύνδεση με ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων.[40]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αλουμίνιο, αν και παράγεται με μια πιο σύνθετη διαδικασία σε σχέση με το χάλυβα, έχει να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην αυτοκινητοβιομηχανία τα οποία συνοψίζονται γύρω από την μείωση της μάζας των επιμέρους μεταλλικών τεμαχίων στο αμάξωμα του οχήματος. Απαιτείται ιδιαίτερη προετοιμασία των τεμαχίων από αλουμίνιο αλλά και ιδιαίτερη επιμέλεια ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα με μακροχρόνια λειτουργία και αντοχή. Επίσης η σύνδεση των μεταλλικών τεμαχίων που συντελούν το αμάξωμα χρήζει ιδιαίτερης προσοχής ώστε να μην εμφανιστούν φαινόμενα διάβρωσης ενώ ακόμα μεγαλύτερη προσοχή δίνεται κατά την ένωση τεμαχίων από διαφορετικό υλικό, όπως τεμάχια από αλουμίνιο με αντίστοιχα από χάλυβα. Επιπλέον, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να επιλέγονται με ευλάβεια ώστε η σύνδεση να είναι ανθεκτική και εξαρτάται άμεσα από το τύπο της σύνδεσης και των υλικών αλλά και από τα εφαρμοζόμενα φορτία. Τέλος, το αλουμίνιο ως υλικό έχει προσφέρει τη δυνατότητα για μια διαφορετική προσέγγιση της διαμόρφωσης των αμαξωμάτων πέρα από τα συμβατικά όπως τα αμαξώματα με χωροδικτύωμα των οποίων η κατασκευή ξεκίνησε γύρω από την ιδέα για αντικατάσταση του συμβατικού πλέον χάλυβα ως κύριο υλικό χρήσης στη κατασκευή των αμαξωμάτων με το αλουμίνιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] The first aluminium automobiles. Available:

<http://www.anodizing.org/page/1stALCar/The-First-Aluminum-Automobiles.htm>

[2] Historical background on use of aluminium at AUDI. Available:

<https://www.audiworld.com/news/02/aluminum/content1.shtml>

[3] J. Hirsch. (2004, January). Automotive Trends in Aluminium - The European Perspective. Available:

https://www.researchgate.net/publication/242553245_Automotive_Trends_in_Aluminium_-_The_European_Perspective

[4] Αλουμίνιο και αυτοκίνητο (2009, Feb.). Available:

http://trans.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_carnews_1_20/01/2009_263991

[5] Βωξίτης. Available:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%89%CE%BE%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>

[6] Νεφελίνης. Available:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%86%CE%B5%CE%BB%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%82>

[7] How Aluminium is Produced. Available:

<http://rocksandminerals.com/MineralInformation/Aluminum/HowAluminumIsProcessed.html>

[8] Aluminium. Available:

<http://www.madehow.com/Volume-5/Aluminum.html>

[9] ‘‘The aluminium automotive manual’’, European Aluminium association, pp. 6-12, 2002

[10] Αργίλιο. Available:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BB%CE%B9%CE%BF>

[11] Properties of aluminium. Available:

<http://www.aluminiumdesign.net/why-aluminium/properties-of-aluminium>

[12] Aluminium. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

[13] J. R. Davis, Corrosion of aluminium and aluminium alloys, ASM International, 1999, page 10-15.

[14] “Aluminium alloy specifications”, Aalco Metals Ltd, pp. 5-6, Sep. 2017.

[15] Ron Cobden, Alcan, Banbury, “Aluminium : Physical properties, characteristics and alloys”, pp. 15-23, 1994

[16] Understanding The Alloys Of Aluminum. Available:

<http://www.alcotec.com/us/en/education/knowledge/techknowledge/understanding-the-alloys-of-aluminum.cfm>

[17] Aluminum Alloys. Available:

<https://www.makeitfrom.com/material-group/Aluminum-Alloy>

[18] Αλουμίνιο και τα κράματα του. Available:

<http://www.4troxoi.gr/phpBB3/viewtopic.php?f=5&t=9506&start=0>

[19] John Gilbert Kaufman, Elwin L., Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, ASM International, 2004, page 13-14.

[20] Casting defects : Hot tearing(2008, October). Available:

<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=204>

[21] Melting and alloying aluminium alloys(2008, March). Available:

<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=191>

[22] Ο περιοδικός πίνακας(2013, September). Available:

<http://blogs.sch.gr/koutenp/archives/104#prettyPhoto>

[23] J.R. Davis, Aluminum and aluminum alloys, ASM International, 2001, page 18.

[24] Aluminum casting process. Available:

https://www.bonlalum.com/education/aluminum_casting_process.shtml

[25] Sand Casting. Available:

<http://www.custompartnet.com/wu/SandCasting>

[26] Die casting. Available:

<http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>

[27] Sheet metal forming. Available:

<http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>

[28] Aluminum extrusion. Available:

<http://www.abralco.com/index.php/about-aluminium/aluminum-extrusion>

[29] Δρ Γ. Παραδεισιάδης, Διαμορφώσεις χωρίς αφαίρεση υλικού, 2012, page 75-78.

[30] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Car body–Roof and trim)’’, European Aluminium association, pp. 2, 2013

[31] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Car body–Hang on parts)’’, European Aluminium association, pp. 3-11, 2013

[32] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Car body–Body components)’’, European Aluminium association, pp. 12-23, 2013

[33] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Chassis and suspension–Suspension parts)’’, European Aluminium association, pp. 6-16, 2011

[34] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Chassis and suspension–Subframes)’’, European Aluminium association, pp. 2-16, 2011

[35] ‘‘The aluminium automotive manual – Design with aluminium’’, European Aluminium association, pp. 2-30, 2011

[36] Comparison of Steel with Aluminium(2015, December). Available:

<http://ispatguru.com/comparison-of-steel-with-aluminum/>

[37] Soroosh Borazjani, ‘‘Light-weight Design of Vehicle Roof Panel for Stiffness and Crash Analyses’’, Politecnico di Torino, 2016, pp. 64-74.

[38] ‘‘The aluminium automotive manual – (Applications–Car body–Body structures)’’, European Aluminium association, pp. 6-81, 2013

[39] ‘‘The aluminium automotive manual – (Joining-Adhesive bonding)’’, European Aluminium association, pp. 3-40, 2015

[40] ‘‘The aluminium automotive manual – (Joining-Mechanical joining)’’, European Aluminium association, pp. 38-59, 2015

[41] ‘‘The aluminium automotive manual – (Joining- Characteristics of aluminium in fusion welding)’’, European Aluminium association, pp. 2-15, 2015

[42] ‘‘The aluminium automotive manual – (Joining- Arc welding)’’, European Aluminium association, pp. 3-27, 2015