

# ΑΦΡΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τους μεταλλικούς αφρούς έχει αυξηθεί ιδιαίτερα. Ο κυριότερος λόγος για αυτή την αύξηση είναι κυρίως για εφαρμογές όπου χρειαζόμαστε μειωμένο βάρος υλικών.

Γενικά τα τελευταία 40 χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για να φτιαχτούν δομές μεταλλικών αφρών, οι οποίες όμως δεν βρήκαν εφαρμογή λόγω του υψηλού κόστους. Επίσης ένα άλλο πρόβλημα ήταν το ότι δεν μπορούσαν να παραχθούν δομές με αναπαραγόμενες ιδιότητες. Αυτό μπορεί να οφειλόταν παραδείγματος χάριν στην χαμηλή αφριστικότητα του λειωμένου μετάλλου, στην μεγάλη διασπορά, στο μέγεθος των πόρων ή στην συρρίκνωση κατά την στερεοποίηση. Μετά από εκτεταμένη έρευνα, ανακαλύφθηκαν καινούργιες τεχνολογίες παραγωγής μεταλλικών αφρών οι οποίες έχουν μειώσει στο ελάχιστο ή έχουν εξαλείψει αυτά τα προβλήματα, με αποτέλεσμα την παραγωγή αφρών υψηλής ποιότητας.

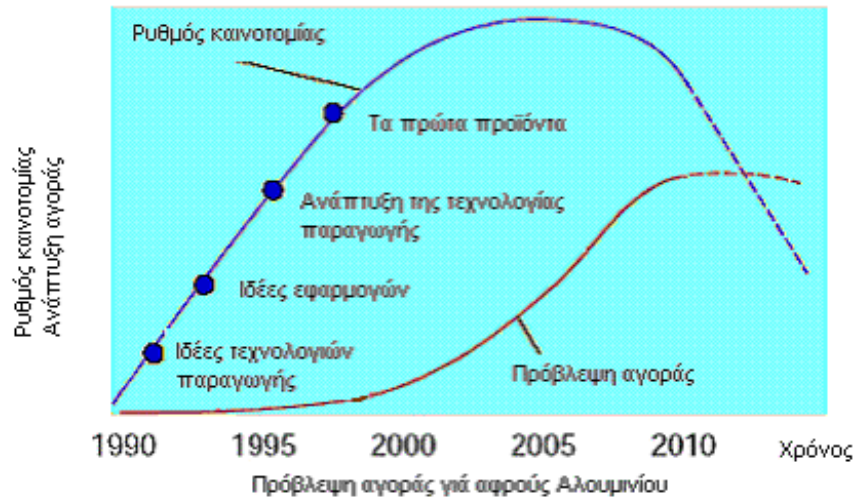
Οι μεταλλικοί αφροί έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως, **χαμηλό βάρος, ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και ήχου**, επίσης είναι **άφλεκτοι**. Υπάρχουν φυσικά πολλές εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται οι μεταλλικοί αφροί, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία στη μηχανολογία, στις οικοδομές, στις οικιακές συσκευές και στην βιομηχανία των χημικών.

Προς το παρόν οι αφροί αλουμινίου παράγονται από λίγες εταιρίες ανά τον κόσμο, σε μικρή κλίμακα και για συγκεκριμένες εφαρμογές.

## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΦΡΩΝ

Η παραγωγή μεταλλικών αφρών έγινε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1940 από τον Benjamin Sosnicki. Η μέθοδος του εκμεταλλευόταν το γεγονός ότι σε κράματα που οι διαφορετικές φάσεις έχουν μεγάλη διαφορά στο σημείο τήξης και βρασμού, οι φάσεις μπορούν να τακούν και να βράσουν ανεξάρτητα η μια από την άλλη. Η διαδικασία έχει ως εξής: ένα πολυφασικό κράμα θερμαίνεται, με την σύσταση του κράματος να είναι τέτοια ώστε το ένα συστατικό να βράζει ενώ το άλλο μόλις έχει αρχίσει να λιώνει. Το κράμα κατά την διάρκεια της θέρμανσης βρίσκεται μέσα σε ένα αυτόκλειστο( εφαρμογή υψηλής πίεσης), έτσι ώστε το μέταλλο στην αέρια φάση να μην μπορεί να φύγει από το υγρό μέταλλο. Μείωση της πίεσης οδηγεί σε ξαφνικό βρασμό του κράματος, το οποίο στην συνέχεια μπορεί να ψυχθεί και να δώσει ένα στερεό γεμάτο από κλειστούς πόρους. Οι προτεινόμενες χρήσεις αξιοποιούσαν την βελτιωμένη αντοχή σε κρούση του κράματος καθώς και την θερμομόνωση και ηχομόνωση. Προφανώς μόνο λίγα κράματα ήταν κατάλληλα για αυτή τη διαδικασία, αφού μια από τις φάσεις έπρεπε να έχει εξαιρετικά χαμηλό σημείο βρασμού με αποτέλεσμα η σύνθεση του κράματος να περιλαμβάνει στοιχεία όπως ο ψευδάργυρος, το κάδμιο και ο υδράργυρος, στοιχεία σχετικά πτητικά και εκρηκτικά. Η όλη διαδικασία ήταν αρκετά δαπανηρή και έδινε μικρή ποσότητα μη κανονικού αφρού που περιείχε μερικά επικίνδυνα μέταλλα. Ίσως για αυτούς τους λόγους αυτή η διαδικασία δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ ευρέως. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 έγινε και η παραγωγή μεταλλικών αφρών με ανοιχτούς πόρους. Το 1959 έγινε μια μεγάλη καινοτομία στην παραγωγή των μεταλλικών αφρών από τους ερευνητές της United Aircraft Corporation. Στην καινούργια αυτή μέθοδο αναμιγνύουμε ένα κονιοποιημένο μέταλλο μαζί με ένα υλικό σε σκόνη που χρησιμεύει στην παραγωγή αερίων. Το υλικό που θα παράγει το αέριο πρέπει να το διαλέξουμε προσεκτικά ώστε κοντά στην θερμοκρασία τήξης του μετάλλου να αποσυντίθεται και να παράγει μεγάλη ποσότητα αερίου. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής ήταν ότι παρουσίαζε προβλήματα κατά την διαδικασία της ψύξης του αφρού. Το 1963 οι Hardy και Peisker παρουσίασαν μια καινούργια μέθοδο στην οποία προσθέτανε κατευθείαν τον αφριστικό παράγοντα στο τήγμα του μετάλλου. Αυτή η μέθοδος ήταν πολύ πιο φθηνή από εκείνη που χρησιμοποιούσε κονιοποιημένο

μέταλλο.



Σε γενικές γραμμές όμως η παραγωγή των μεταλλικών αφρών ήταν ακριβή, μη αξιόπιστη και γινόταν περισσότερο στα εργαστήρια των Πανεπιστημίων για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Οι προερχόμενοι από τήξη αφροί επικράτησαν στην εμβρυακή αγορά με διάφορες εταιρίες ανά τον κόσμο να προσφέρουν καινοτόμα προϊόντα. Ακόμα και σήμερα η αγορά των μεταλλικών αφρών είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής αφρών υψηλής ποιότητας. Σήμερα σχεδόν όλη η ερευνητική δραστηριότητα επικεντρώνεται στους αφρούς αλουμινίου (λόγω της χαμηλής πυκνότητας, της αντίστασης σε διάβρωση και ενός σχετικά χαμηλού σημείου τήξης το οποίο τους δίνει υψηλή κατεργασιμότητα). Παρ' όλα αυτά έχουν κατασκευαστεί και αφροί από σίδηρο, νικέλιο και μόλυβδο. Οι αφροί του νικελίου χρησιμοποιούνται σαν χημικά φίλτρα ενώ οι άλλοι έχουν αμφίβολη ποιότητα και απασχολούν τους ερευνητές πιο πολύ ερευνητικά.

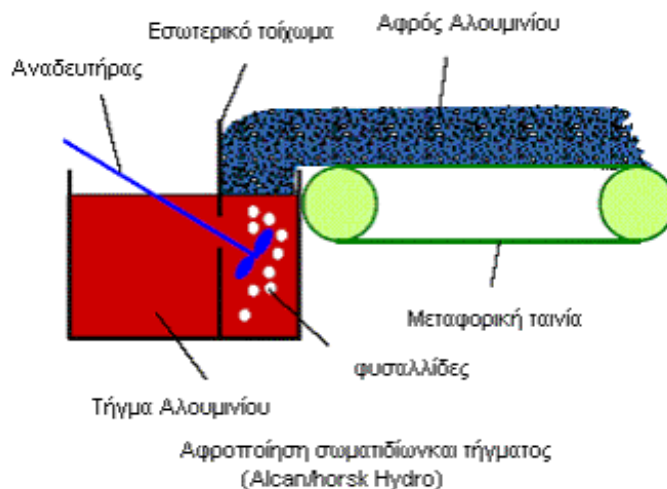
### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αν και πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την παραγωγή των μεταλλικών αφρών, δεν είναι όλες κατάλληλες για βιομηχανική παραγωγή. Οι τεχνολογίες παραγωγής των μεταλλικών αφρών μπορούν λοιπόν να χωριστούν σε αυτές που ξεκινάνε με το μέταλλο σε υγρή μορφή ή σε σκόνη.

#### 3.1 LM foams: Αφροί μεταλλικών τηγμάτων

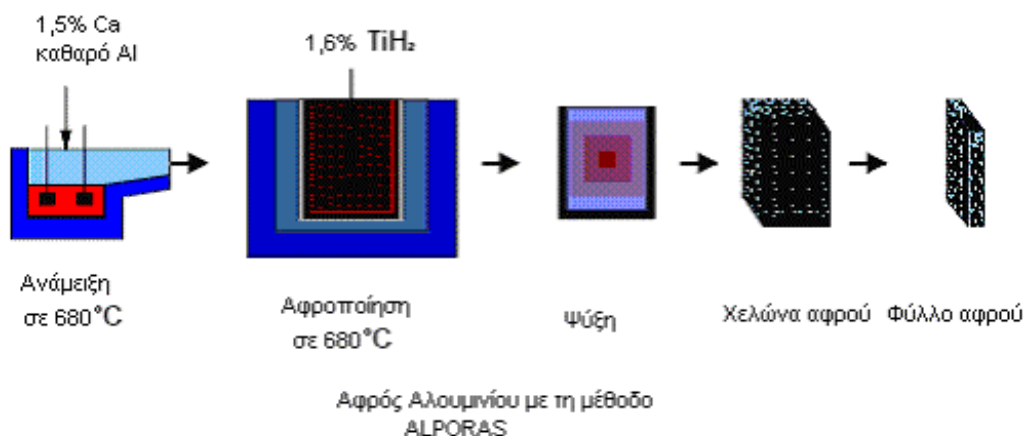
Οι παρακάτω μέθοδοι έχουν σαν κοινό γνώρισμα το ότι ξεκινάνε με την τήξη του μετάλλου που θέλουμε να αφροποιήσουμε.

##### α) Τεχνολογία παραγωγής Alcan/Norsk Hydro



Στο πιο πάνω σχήμα φαίνεται η μέθοδος παραγωγής Alcan/Norsk Hydro, η οποία εισάγει αέρια άμεσα στο υγρό μέταλλο. Στην αρχή προστίθεται στο υγρό Al, SiC ή  $Al_2O_3$  (10 με 15%) για να αυξήσει το ιξώδες του. Στη συνέχεια ένα αέριο (άζωτο ή αργό) εισάγεται στο τήγμα υπό ανάδευση χρησιμοποιώντας μια περιστρεφόμενη προπέλα. Τέλος το επιπλέον υγρό απομακρύνεται συνεχώς από την επιφάνεια του τήγματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να παραχθούν χελώνες αφρού σημαντικού μεγέθους (π.χ.  $0,1 \times 10 \text{ m}$ ). Με αυτή την τεχνολογία το τελικό προϊόν είναι ένα πορώδες φύλλο με πορώδες που κυμαίνεται από 80% έως 97%.

### β) Τεχνολογία παραγωγής Alporas



Η εταιρία Shinko Wire (Osaka, Japan) έχει αναπτύξει μια άλλη μέθοδο, η οποία περιλαμβάνει την προσθήκη ασβεστίου (1,5%) στο τήγμα του αλουμινίου για την αύξηση του ιξώδους. Το ασβέστιο εισάγεται στο τήγμα του αλουμινίου στους  $680^\circ\text{C}$ , στην συνέχεια το τήγμα αναδεύεται για έξι λεπτά σε κανονικό περιβάλλον. Το πυκνότερο τήγμα του αλουμινίου μεταγγίζεται σε ένα καλούπι χύτευσης και αναδεύεται μαζί με ένα πρόσθετο σκόνης  $TiH_2$  (αφριστικός παράγοντας) χρησιμοποιώντας μια περιστρεφόμενη προπέλα. Ο αφριστικός παράγοντας αποσυντίθεται κάτω από την επίδραση της θερμοκρασίας και εκλύει αέρια υδρογόνου (μια ικανοποιητική ποσότητα υδριδίου είναι συνήθως 1,6%). Ως εκ τούτου, ο αφρός διαστέλλεται και γεμίζει το καλούπι μέσα σε 15 λεπτά. Ψύχεται με την βοήθεια ανεμιστήρων μέσα στο καλούπι και στερεοποιείται σαν χελώνα με πορώδες

που κυμαίνεται από 89% έως 93%. Μία χυτή χελώνα Α1progas έχει διαστάσεις mm<sup>2</sup> και βάρος 160 kg. Η χελώνα κόβεται σε φύλλα με το επιθυμητό πάχος.

### γ) Άλλες τεχνολογίες παραγωγής

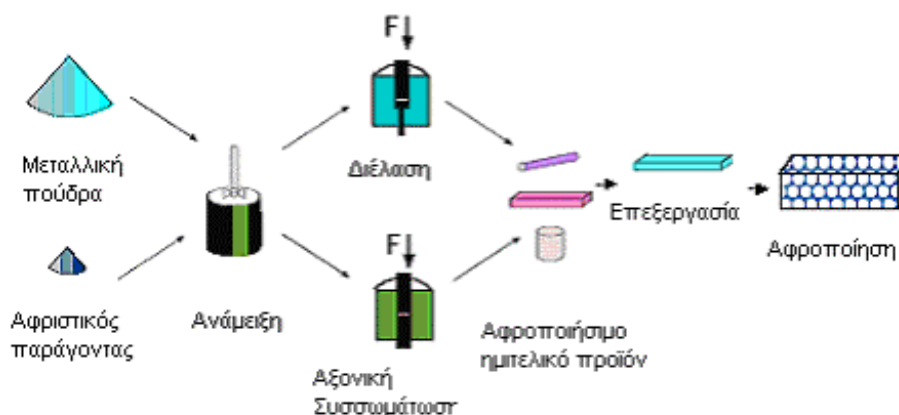
Η διαδικασία GASAR βασίζεται στην σχέση της διαλυτότητας του υδρογόνου με την πίεση. Το μέταλλο τήκεται σε ένα αυτόκλειστο, στην συνέχεια αυξάνουμε την πίεση με αποτέλεσμα ένα υψηλό ποσό υδρογόνου να διαλύεται στο τήγμα. Αυτό το υπέρκορο τήγμα μεταγγίζεται σε καλούπι το οποίο βρίσκεται μέσα στο αυτόκλειστο. Στην συνέχεια κάνουμε κατευθυνόμενη στερεοποίηση σε χαμηλή πίεση. Το αέριο υδρογόνο παγιδεύεται σε μακρόστενους πόρους στο μέτωπο της στερεοποίησης. Το μέγιστο πορώδες είναι χαμηλό (5-75%).

Άλλες τεχνολογίες βασίζονται στην δημιουργία αντιγράφου. Για να φτιάξουν ένα καλούπι αυτές οι τεχνολογίες ξεκινάνε με ένα δικτυωμένο αφρό πολυουρεθάνης, που βυθίζεται σε ένα πολύ θερμοανθεκτικού υλικού. Μετά από ξήρανση αφαιρείται το πολυμερές και το χυτό μέταλλο εκχύνεται στο τελικό καλούπι. Στην συνέχεια παίρνουμε τον παραγόμενο αφρό αφαιρώντας το από το καλούπι χρησιμοποιώντας νερό υπό πίεση. Ο μεταλλικός αφρός που παίρνουμε έχει ακριβώς την ίδια δομή με τον αρχικό αφρό πολυουρεθάνης. Ένα τυπικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 80% έως 97%. Αυτή η διαδικασία διαφέρει από τις προηγούμενες γιατί παράγει αφρό με ανοιχτούς πόρους. Επίσης είναι δυνατή η παραγωγή αφρών με την έκχυση του τήγματος σε έναν όγκο πληρωτικού υλικού με την μορφή ανόργανων κόκκων ή κούφιων σφαιρών.

### 3.2 PM foams: Αφροί από μεταλλικές πούδρες

Σε αυτές τις τεχνολογίες η διαδικασία παραγωγής έχει μεγάλη σημασία και βασίζεται στην χρήση αφριστικού παράγοντα. Στην θέση του αφριστικού παράγοντα μπορούν να παγιδευτούν στο πρόδρομο υλικό και αδρανή αέρια.

#### α) Διαστολή με ένα αέριο που εκλύεται από έναν αφριστικό παράγοντα (IF AM, MEPURA)

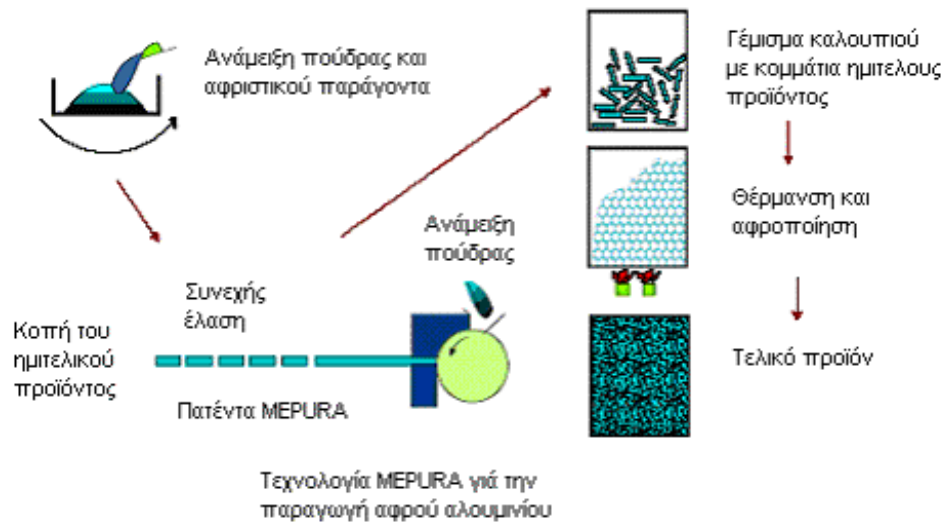


Οι τεχνολογίες που βασίζονται στην χρήση αφριστικού παράγοντα (όπως φαίνεται και στο πιο πάνω σχήμα: (παραγωγή αφρού αλουμινίου με την τεχνολογία IF AM) ξεκινούν με την μίξη μιας μεταλλικής σκόνης (καθαρό μέταλλο, κράμα ή μείγμα πούδρας) με έναν αφριστικό παράγοντα (για το αλουμίνιο και τα κράματά του συνήθως 0,4-0,6% κατά βάρος TiH<sub>2</sub>). Τα πιο συνηθισμένα κράματα που χρησιμοποιούμε για να φτιάξουμε αφρούς είναι τα κατεργάσιμα κράματα της σειράς

1xxx (καθαρό αλουμίνιο), 2xxx (Al-Cu) και 6xxx (Al-Mg-Si) ή τα κράματα χύτευσης π.χ. AlSi7 και AlSi12. Τα τελευταία έχουν εξαιρετική αφριστικότητα λόγω του χαμηλού σημείου τήξης και των καλών ιδιοτήτων αφροποίησης. Το μείγμα συμπιέζεται σε ένα πυκνό, ημιτελικό προϊόν. Στην IF AM-διαδικασία το υλικό συμπιέζεται με μονοαξονική συμπίεση, χρησιμοποιώντας έλαση ή διέλαση ανάλογα με το απαιτούμενο σχήμα. Η διαδικασία MEPURA χρησιμοποιεί μια τεχνολογία συνεχούς διέλασης για την συμπίεση του μίγματος. Το επόμενο βήμα είναι μια θερμική κατεργασία κοντά στο σημείο τήξης της μεταλλικής μήτρας και πάνω από την θερμοκρασία αποσύνθεσης του αφριστικού παράγοντα. Σε αυτή την θερμοκρασία ο παράγοντας αφροποίησης αποσυντίθεται και εκλύει αέριο υδρογόνο. Το αέριο οδηγεί στην διόγκωση του υλικού με αποτέλεσμα μια δομή με υψηλό πορώδες και κλειστούς πόρους. Η διαδικασία της αφροποίησης σταματάει με ψύξη αρκετά κάτω από το σημείο τήξης. Το πορώδες κυμαίνεται από 60% έως 85%.

Η ποιότητα του τελικού αφρού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες π.χ. συνθήκες συμπίεσης (τεχνολογία, βαθμός παραμόρφωσης, θερμοκρασία, πίεση, χρόνος), ποιότητα της πούδρας (τύπος και μέγεθος κόκκων, κράμα, συνθήκες μίξης), παράμετροι αφροποίησης (θερμοκρασία, ρυθμός θέρμανσης, χρόνο ψύξης, ατμόσφαιρα) και την γεωμετρία του ημιτελούς προϊόντος. Η πυκνότητα του αφρού ελέγχεται με την μεταβολή της περιεκτικότητας σε αφριστικό παράγοντα, της θερμοκρασίας και του ρυθμού θέρμανσης.

## β) Παραγωγή αφρού αλουμινίου με την τεχνολογία MEPURA

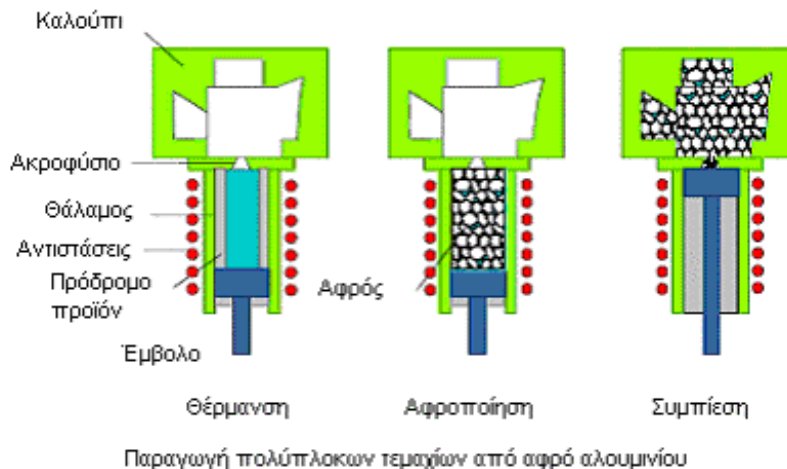


Για να επιτύχουμε το επιθυμητό σχήμα του αφρού είναι απαραίτητο να εισάγουμε το πρόδρομο (ημιτελικό) υλικό μέσα σε ένα καλούπι. Διαφορετικά το αποτέλεσμα θα ήταν ένα κομμάτι μεταλλικού αφρού με ακαθόριστο σχήμα. Κάνοντας την αφροποίηση μέσα σε κλειστά καλούπια μπορούμε να πάρουμε σχεδόν όλα τα σχήματα. Κατά την διαδικασία της αφροποίησης μπορούν να ενωθούν κομμάτια αφρού με κομμάτια μετάλλου Π.χ. μπορούμε να γεμίσουμε σωλήνες με αφρό αλουμινίου με διάφορους τρόπους,

Μια άλλη μέθοδος είναι η παραγωγή φύλλων σάντουιτς που περιέχουν αφροποιημένο μέταλλο στο εσωτερικό τους. Μπορούμε να παράγουμε τα σάντουιτς κολλώντας τα φύλλα σε ένα φύλλο αφρού ή με έλαση φύλλων αλουμινίου ή σιδήρου που έχουν τοποθετηθεί πάνω και κάτω από ένα αφροποιημένο πρόδρομο υλικό. Με την τελευταία μέθοδο παράγουμε σάντουιτς με μεταλλικούς δεσμούς στις επαφές μετάλλου-αφρού. Το πρόδρομο σάντουιτς μπορεί να μορφοποιηθεί πριν από την αφροποίηση Π.χ. με βαθιά κοίλανση.

### γ) Παραγωγή αφρού αλουμινίου με αρκετά πολύπλοκο σχήμα.

Αρκετά πολύπλοκα σχήματα μπορούν να παραχθούν αν εισάγουμε ένα διογκωμένο, υγρό αφρό σε ένα κατάλληλο καλούπι και κάνουμε εκεί τη τελική διόγκωση. Τα τελικά προϊόντα έχουν πυκνότητες μεταξύ  $0,5 \text{ gr/cm}^3$  και  $1 \text{ gr/cm}^3$ . Το πρώτο βήμα αυτής της τεχνολογίας μπορεί να συγκριθεί με αυτό της διαδικασίας ΜΕΡΥΡΑ π.χ. μίξη πούδρας αλουμινίου με τον αφριστικό παράγοντα και συνεχής διέλαση σε ένα συμπαγές αφροποιήσιμο πρόδρομο υλικό. Μόνο που σε αυτή την περίπτωση το πρόδρομο υλικό θερμαίνεται σε ένα θάλαμο αφροποίησης έως το σημείο τήξης του κράματος. Αυτό οδηγεί στην δημιουργία υγρού αφρού, ο οποίος χυτεύεται με ένα ελεγχόμενο τρόπο σε ένα μεταλλικό καλούπι ή σε ένα καλούπι άμμου. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή σε μεγάλη ή σε μικρή κλίμακα και την δημιουργία πρωτοτύπων σε ικανοποιητικό κόστος. Τέτοια κομμάτια αφρού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πυρήνες στην χύτευση υπό πίεση του αλουμινίου.



### δ) Τεχνολογίες παραγωγής που χρησιμοποιούν ένα παγιδευμένο αέριο

Σε αυτή την τεχνολογία ένας θάλαμος που κλείνει ερμητικά γεμίζεται με την πούδρα του αλουμινίου. Στην συνέχεια ένα αέριο π.χ. αργό εισέρχεται υπό πίεση στην πούδρα και γεμίζει όλα τα κενά ανάμεσα στους κόκκους της. Όταν θερμανθεί το πιο πάνω μίγμα, οι κόκκοι της πούδρας λιώνουν και κολλάνε μεταξύ τους και παγιδεύουν ανάμεσά τους το υπάρχον αέριο. Η παραχθείσα χελώνα υφίσταται έλαση και θερμαίνεται, έτσι το παγιδευμένο αέριο εκτονώνεται και παράγει ένα μεταλλικό αφρό (McDonnell Douglas).

## 4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΦΡΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Οι αφροί αλουμινίου είναι ισοτροπικά αφρώδη υλικά με αρκετά ασυνήθιστες ιδιότητες, που τους κάνουν κατάλληλους για ειδικές εφαρμογές. Χάρη στην χαμηλή τους πυκνότητα  $0,3 \text{ gr/cm}^3$ - $0,8 \text{ gr/cm}^3$  οι αφροί μπορούν να επιπλέουν στο νερό (στην περίπτωση που έχουμε κλειστούς πόρους).

Οι αφροί παρουσιάζουν χαμηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αντοχή τους είναι χαμηλότερη από την αντοχή του συμπαγούς αλουμινίου και μειώνεται με την μείωση της πυκνότητας. Οι αφροί είναι σταθεροί σε θερμοκρασίες μικρότερες από το σημείο τήξης του μετάλλου από το οποίο αποτελούνται. Επίσης είναι άφλεκτοι και μη τοξικοί.

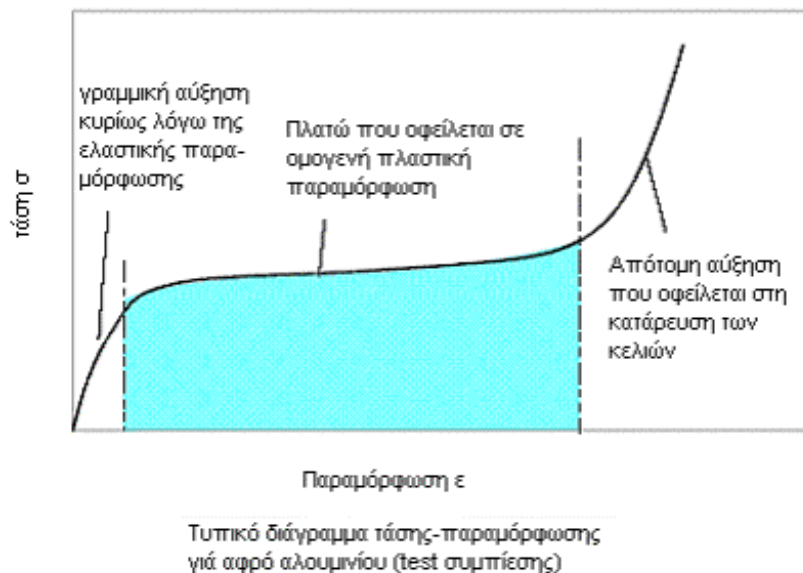
Στις περισσότερες τεχνολογίες παραγωγής αφρών οι ιδιότητες τους διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και

εξαρτώνται από τις παραμέτρους της παραγωγής. Δίνονται μερικά παραδείγματα στον πίνακα 1.

Κράμα	Al 99,5%	Al99,5%	AlSi12	
Αφριστικός παράγοντας	-	TiH <sub>2</sub>	TiH <sub>2</sub>	
Πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	2,7	0,4	0,54	0,84
Αντοχή στην θλίψη Mpa	-	3	7	15
Απορρόφηση ενέργειας για 30% συμπίεση MJ/m <sup>3</sup>	-	0,74	2	4
kJ/kg	-	1,8	3,7	4,8
Μέτρο ελαστικότητας Gra	67	2,4	5	14
Ηλεκτρική αγωγιμότητα m/(Ω mm <sup>2</sup> )	34	2,1	-	-
Θερμική αγωγιμότητα W/(m*K)	235	12	13	24

#### 4.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Εξαιτίας της κυψελωτής δομής οι αφροί έχουν διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με τα μέταλλα. Αυτό έχει σαν άμεση συνέπεια να μην μπορούν να ελεγχθούν με τα γνωστά συμβατικά τεστ, π.χ. τεστ εφελκυσμού. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα τα δίνει η δοκιμή θλίψης που μας δίνει ένα τυπικό διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης που χωρίζεται σε 3 μέρη. Έχει βρεθεί ότι αυτή η συμπεριφορά είναι τυπική για τους αφρούς με ανοιχτούς ή κλειστούς πόρους. Το διάγραμμα δείχνει μια γραμμική αύξηση της παραμόρφωσης στην αρχή της επιβολής της τάσης και ένα κομμάτι σχεδόν αμετάβλητης τάσης στην μέση, που ακολουθείται από μια απότομη αύξηση της τάσης παραμόρφωσης.



Το πρώτο στάδιο δεν είναι συνέπεια μόνο της ελαστικής παραμόρφωσης, όπως στην περίπτωση των μετάλλων, αλλά και της πλαστικής παραμόρφωσης. Στους αφρούς μη αντιστρεπτή παραμόρφωση μπορεί να συμβεί και σε χαμηλή τάση.

Το σχεδόν ευθύγραμμο κομμάτι εμφανίζεται λόγω μιας ομογενούς πλαστικής παραμόρφωσης.

Το τρίτο στάδιο οφείλεται στην κατάρρευση των κελιών. Οι απέναντι τοίχοι των κελιών αρχίζουν

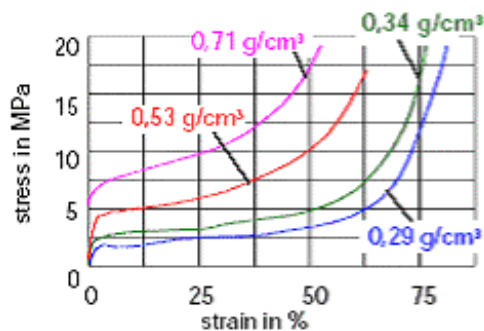
να αγγίζουν ο ένας τον άλλο. Η τάση που οι αφροί με ανοιχτούς και με κλειστούς πόρους εμφανίζουν "πλατό" είναι περίπου η ίδια όταν συγκρίνουμε αφρούς με την ίδια πυκνότητα και με την ίδια μήτρα.

Οι ιδιότητες των αφρών επηρεάζονται επίσης και από την επιφάνειά τους. Οι αφροί που δοκιμάζονται χωρίς την πιο πυκνή εξωτερική επιφάνεια (π.χ, έχει αφαιρεθεί με κοπή) έχουν χαμηλότερη αντοχή. Η εξήγηση για αυτή την συμπεριφορά είναι ότι η εξωτερική επιφάνεια λειτουργεί σαν μέσο σκλήρυνσης όπως και στην δομή του σάντουιτς. Η ίδια συμπεριφορά χαρακτηρίζει και τους σωλήνες που στο εσωτερικό τους έχουν αφρό αλουμινίου. Η κατεύθυνση του αφρού δεν παίζει κάποιο ρόλο, γιατί ουσιαστικά οι αφροί είναι ισοτροπικά υλικά. Στους μεταλλικούς αφρούς μπορούμε να κάνουμε θερμικές κατεργασίες αλλά είναι δύσκολο και υπάρχουν αρκετά προβλήματα με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την αντοχή. Μερικά προβλήματα είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και το ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί ο ίδιος ρυθμός ψύξης σε όλο το υλικό. Σαν μέσο ψύξης χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας που δίνει όμως αργούς ρυθμούς ψύξης σε σχέση με το νερό, το οποίο όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο ψύξης γιατί καταστρέφει τα κελιά.

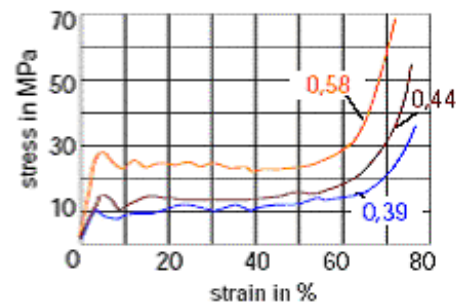
## 4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ - ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε η εξωτερική επιφάνεια αυξάνει την αντοχή των αφρών. Χρησιμοποιώντας μεταλλικά φύλλα σιδήρου ή αλουμινίου που περιβάλλουν τον αφρό μπορούμε να αυξήσουμε την αντοχή του αφρού δημιουργώντας μια δομή σάντουιτς.

Επίσης μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερη αντοχή και ακαμψία στους σωλήνες αν τους γεμίσουμε με αφρό αλουμινίου.



Al99,5-foam (MEPURA; TU Wien)



AlSi6Cu-foam (IFAM, Germany)

Διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης για αφρούς αλουμινίου με κλειστά κελιά (διαφορετικές πυκνότητες και διαφορετικά κράματα)

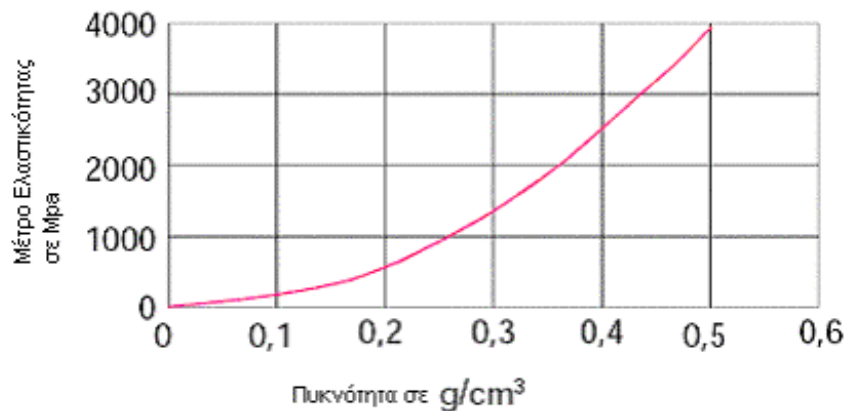




Διάφοροι τύποι σωλήνων και προφίλ γεμισμένων με αφρό αλουμινίου

Στο προηγούμενο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θλίψης σε διάφορους σωλήνες που περιέχουν ή δεν περιέχουν αφρό αλουμινίου στο εσωτερικό τους. Στην περίπτωση των σωλήνων με τον αφρό αλουμινίου η τάση του “πλατό” είναι μεγαλύτερη, όπως επίσης και η περιοχή κάτω από το “πλατό”. Αυτό σημαίνει ότι αυτοί οι σωλήνες είναι καλύτεροι για εφαρμογές που απαιτείται απορρόφηση ενέργειας κρούσης. Μπορούν δηλαδή να χρησιμοποιηθούν σαν απορροφητές ενέργειας σύγκρουσης στα αυτοκίνητα. Γεμάτοι σωλήνες με μικρότερη διάμετρο μπορούν να απορροφήσουν την ίδια ενέργεια με σωλήνες με μεγαλύτερη διάμετρο, δηλαδή μπορούμε να έχουμε το ίδιο όφελος καταλαμβάνοντας λιγότερο χώρο. Αυτό ενδιαφέρει ιδιαίτερα την αυτοκινητοβιομηχανία. Ο αφρός του αλουμινίου προστατεύει τον σωλήνα από μια πρόωρη κατάρρευση ή πλαστική παραμόρφωση. Αν στην συνέχεια ο σωλήνας λυγίσει ή παραμορφωθεί με κάποιο τρόπο ο αφρός συμπιέζεται - με αποτέλεσμα να μετριάξει την περαιτέρω παραμόρφωση. Μερικά παραδείγματα σωλήνων με γέμιση αφρού αλουμινίου φαίνονται στο παραπάνω σχήμα.

### 4.3 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



Μέτρο Ελαστικότητας σε LM αφρούς αλουμινίου (εμπορικής καθαρότητας) διαφόρων πυκνοτήτων

Το μέτρο ελαστικότητας, σε συνδυασμό με την γεωμετρία είναι ένα σημαντικό μέσο χαρακτηρισμού ενός τελικού προϊόντος, από το οποίο μπορούμε να εκτιμήσουμε την αντοχή του. Το ειδικό μέτρο ελαστικότητας ( $E/\rho$ ) του αφρού αλουμινίου είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό του “πυκνού” αλουμινίου. π.χ. το ειδικό μέτρο ελαστικότητας για ένα αφρό A1 99,5% είναι  $6\text{GPa cm}^3/\text{gr}$  (δηλαδή  $E=2,4\text{GPa}$  για μια πυκνότητα αφρού  $d=0,4\text{gr/cm}^3$  ενώ το ειδικό μέτρο ελαστικότητας για το “πυκνό” αλουμίνιο είναι  $25\text{GPa cm}^3/\text{gr}$  (δηλαδή  $E = 67\text{GPa}$  για μια πυκνότητα  $d=2,7\text{gr/cm}^3$ ).

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα το μέτρο ελαστικότητας των αφρών αυξάνει με την αύξηση της πυκνότητας. Αυτό ισχύει για όλους τους αφρούς ανεξαρτήτως από το αν έχουμε ξεκινήσει από τήγμα ή πούδρα. Άρα μπορούμε να προσαρμόσουμε το μέτρο ελαστικότητας ανάλογα με την εφαρμογή μεταβάλλοντας την πυκνότητα του αφρού,

#### 4.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των αφρών διαφέρουν από αυτές των “πυκνών” μετάλλων. Αυτό όμως μπορεί να λειτουργήσει θετικά σε κάποιες περιπτώσεις ανάλογα με την εφαρμογή.

**α) Αγωγιμότητα.** Η ηλεκτρική και η θερμική αγωγιμότητα των αφρών είναι γενικά χαμηλότερη από αυτή των “πυκνών” μετάλλων. Ο λόγος είναι ότι το μεταλλικό κομμάτι του αφρού (τοιχώματα κελιών) καταλαμβάνει πολύ μικρότερο όγκο σε σύγκριση με τους γεμάτους αέρια πόρους. Επίσης τα τοιχώματα των κελιών είναι επικαλυμμένα με ένα στρώμα οξειδίου, το οποίο όπως είναι γνωστό δεν είναι αγωγίμο. Είναι λογικό λοιπόν η αγωγιμότητα να αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας του αφρού.

Η θερμική αγωγιμότητα εκτιμάται ότι είναι δέκα φορές μικρότερη στους αφρούς απ' ότι στα “πυκνά” μέταλλα. Επίσης με μια κατεργασία οξείδωσης η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να μειωθεί κι άλλο. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι ίδιος για τους αφρούς όπως και για τα “πυκνά” μέταλλα, δηλαδή οι αφροί σε υψηλές θερμοκρασίες δεν χάνουν το σχήμα τους απλά διογκώνονται ελάχιστα. Εξαιτίας της χαμηλής θερμικής τους αγωγιμότητας οι αφροί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μονωτικά υλικά.

**β) Ηχομονωτικές ιδιότητες** Ένα άλλο πλεονέκτημα των αφρών είναι η εξαιρετική ικανότητά τους να απορροφούν τον ήχο. Στους αφρούς τα ηχητικά κύματα ανακλώνται από την ακανόνιστη δομή των πόρων. Η κυματική τους ενέργεια προκαλεί κάποιες μικρές παραμορφώσεις στα τοιχώματα των κελιών και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ένταση των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων. Τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών έχουν δείξει ότι η απορρόφηση (ηχομονωτική ικανότητα) αυξάνεται όταν έχουμε ομογενείς πόρους. Επίσης βελτίωση παρατηρείται όσο αυξάνουν οι συνδέσεις μεταξύ των πόρων. Φαίνεται ότι οι αφροί με ανοιχτούς πόρους είναι πιο αποτελεσματικοί στην απορρόφηση των ήχων. Οι μελέτες του συντελεστή απορρόφησης ήχου του Alporas δείχνουν ότι το Alporas που έχει γίνει με έλαση έχει ένα υψηλό συντελεστή απορρόφησης ήχου, ισοδύναμο με αυτό του γυαλιού ή του ξύλου.

#### 4.5 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

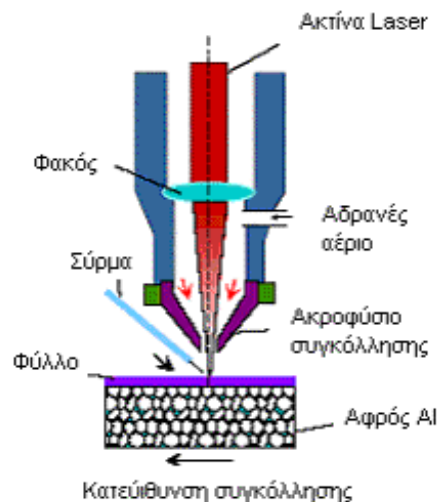
Οι αφροί αλουμινίου είναι άφλεκτοι. Κάτω από την επίδραση θερμότητας δεν εκλύουν τοξικά αέρια. Η συμπεριφορά στην διάβρωση είναι ανάλογη της συμπεριφοράς των “πυκνών” κραμάτων αλουμινίου.

**ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Όλες οι ιδιότητες των αφρών εξαρτώνται από την συγκεκριμένη δομή του υλικού. Αυτή η δομή αναπτύσσεται στην διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και εξαρτάται άμεσα από αυτή. Οι αφροί που παράγονται με διαφορετική τεχνολογία έχουν διαφορετικές ιδιότητες ακόμα και αν έχουν παραχθεί από το ίδιο κράμα. Επομένως είναι χρήσιμο

για μια εφαρμογή να κάνουμε πρώτα μια λίστα με τις απαιτούμενες ιδιότητες και μετά να διαλέξουμε την τεχνολογία παραγωγής και το κράμα.

## 5. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΡΩΝ

Οι αφροί αλουμινίου μπορούν να υποστούν διάφορες κατεργασίες χωρίς πρόβλημα. Οι παραγόμενες χελώνες αφρού μπορούν να κοπούν και να τρυπηθούν. Σε ένα αφρό είναι εύκολο να ανοίξουμε τρύπες ή να τον καρφώσουμε. Εξαιρέση αποτελούν οι αφροί που περιέχουν σωματίδια SiC ή  $Al_2O_3$  λόγω της σκληρότητας αυτών των σωματιδίων. Οι αφροί αλουμινίου εύκολα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα υλικά. Χρησιμοποιώντας χημικές κόλλες μπορούμε να κολλήσουμε τους αφρούς αλουμινίου μεταξύ τους ή με άλλα υλικά. Οι αφροί μπορούν να συνδεθούν με πυκνά υλικά με μηχανικό τρόπο. Η συγκόλληση είναι δυνατή, αλλά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης εξαιτίας της απομάκρυνσης του πυκνού στρώματος του οξειδίου. Επίσης μπορούμε να κάνουμε συγκόλληση με λέιζερ. Αυτή η τεχνολογία είναι συμφέρουσα γιατί εισάγει χαμηλό ποσοστό ενέργειας στον αφρό, με άμεση συνέπεια η δομή του αφρού να είναι σταθερή. Το πληρωτικό υλικό τοποθετείται μπροστά από την κεφαλή του λέιζερ κατά μήκος της διεύθυνσης της συγκόλλησης. Ειδικά για τις συγκολλήσεις αφρών έχουμε καλύτερα αποτελέσματα όταν δουλεύουμε με παλμικό λέιζερ και με λέιζερ συνεχόμενης ακτινοβολίας. Τα πειράματα δείχνουν ότι αυτή η συγκόλληση έχει καλά αποτελέσματα για την συνένωση αφρών αλουμινίου με φύλλα μετάλλου. Συγκριτικά με δείγματα, στα οποία η συνένωση έγινε με χρήση κόλλας η ανθεκτικότητα της συγκόλλησης ήταν μεγαλύτερη. Μπορούμε να βάψουμε τους αφρούς αλουμινίου με οργανικές ή ανόργανες βαφές. Η βαφή δεν θα επηρεάσει την ικανότητα του αφρού να απορροφά τους ήχους.



Σχηματική απεικόνιση συγκόλλησης με Laser

## 6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Υπάρχουν πολλές πιθανές εφαρμογές για τους μεταλλικούς αφρούς όπως ελαφριές κατασκευές, ηχομόνωση, θερμομόνωση και εφαρμογές απορρόφησης ενέργειας. Όπως αναφέρεται και πιο πάνω, οι αφροί αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην αεροδιαστημική, αλλά και στην εφαρμοσμένη μηχανική και σε κατασκευές. Η χρήση αφρών μπορεί να ικανοποιήσει την απαίτηση πολλών κλάδων της βιομηχανίας για ελαφριές κατασκευές. Συγκριτικά με τα συνθετικά υλικά (πλαστικά, αφρούς πολυουρεθάνης) οι αφροί αλουμινίου έχουν κάποια ιδιαίτερα προτερήματα: την καλή αντοχή στην θερμότητα, μεγαλύτερη αντοχή, είναι

άφλεκτοι και μπορούν να ανακυκλωθούν εύκολα. Έως τώρα οι αφροί αλουμινίου έχουν μικρή εφαρμογή, κυρίως για επίδειξη και δοκιμές, αλλά διάφορες ιδέες εξετάζονται και μερικές εμπορικές χρήσεις γίνονται ήδη. Επειδή οι μεταλλικοί αφροί είναι σχετικά ακριβοί, η χρήση τους παρακινείται από το άθροισμα των ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους. Βέβαια αναμένεται ότι η τιμή τους θα πέσει στα επόμενα χρόνια όσο θα αυξάνει η μαζική παραγωγή.

## 6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

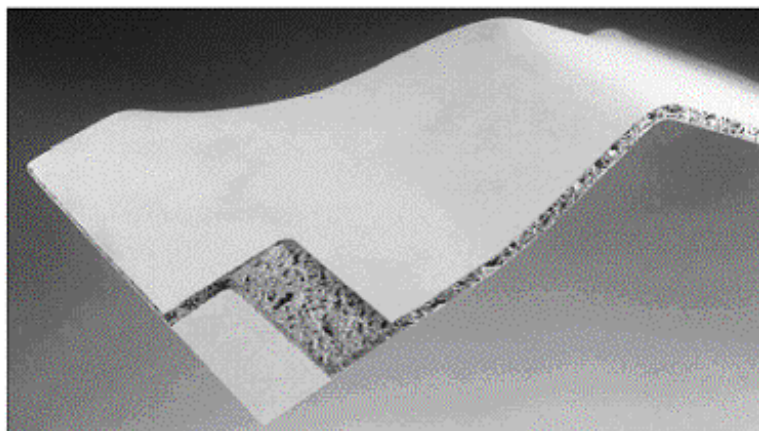
Σήμερα υπάρχει μια τάση για την μείωση του βάρους των αυτοκινήτων. Κυρίως οφείλεται στις ανησυχίες για την προστασία του περιβάλλοντος και τις καινούργιες νομοθετικές ρυθμίσεις που απαιτούν λιγότερη μόλυνση του περιβάλλοντος. Μια άλλη τάση είναι η βελτίωση της παθητικής προστασίας των αυτοκινήτων, που κυρίως επηρεάζεται από την επιλογή των υλικών και τον σχεδιασμό. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι και η ανακύκλωση των υλικών.

Έχοντας υπόψη αυτά, τις καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και την δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειας οι αφροί αλουμινίου μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν στα επιβατικά αυτοκίνητα. Τρεις είναι οι κύριες εφαρμογές των μεταλλικών αφρών στα αυτοκίνητα: Η απορρόφηση ενέργειας, οι ελαφριές κατασκευές και η μόνωση.

1. Η πρώτη εφαρμογή γίνεται κατανοητή στην περίπτωση των μπροστινών και πλαγίων προφυλακτήρων. Είναι γεγονός πως πολλά από τα σημερινά αυτοκίνητα περιέχουν παραμορφώσιμα εξαρτήματα στην δομή τους. Αυτά τα εξαρτήματα που βρίσκονται στην περιοχή πρόσκρουσης, πρέπει να απορροφήσουν την ενέργεια κρούσης έτσι ώστε η κρούση να μην φτάσει στον θάλαμο των επιβατών. Αυτές οι κατασκευές προστασίας (π.χ. μπροστινός ή πλαϊνός προφυλακτήρας, φτερά, κατασκευές των τόξων ασφαλείας δίπλα στην πόρτα ή άλλα εξαρτήματα που κινδυνεύουν να παραμορφωθούν ή να συνθλιβούν σε μια κρούση ή που πρέπει να απορροφήσουν μεγάλα ποσά ενέργειας) μπορούν να γεμίσουν με αφρό αλουμινίου. Στα φορτηγά οι αφροί αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την ακαμψία των προστατευτικών μερών της κάτω πλευράς. Με την βοήθεια αυτών των εξαρτημάτων μπορούμε να δημιουργήσουμε μια ελεγχόμενη, προγραμματισμένη παραμόρφωση στην ζώνη κρούσης των αυτοκινήτων με την μέγιστη δυνατή απορρόφηση ενέργειας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό ιδίως στην περίπτωση των καινούριων, μικρών αυτοκινήτων της πόλης, όπου τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την απορρόφηση ενέργειας πρέπει να καταλαμβάνουν το μικρότερο δυνατό όγκο.

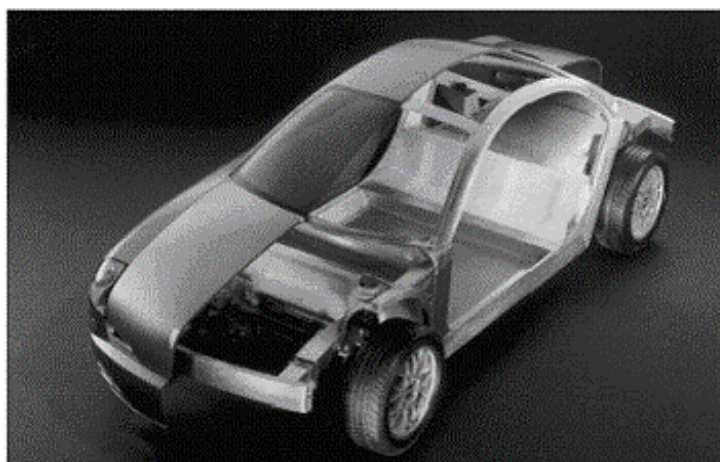
2. Η καλή σχέση ανάμεσα στο βάρος και την σκληρότητα στους αφρούς, τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν και στο αμάξωμα ή σε άλλα δομικά μέρη, σε περιοχές του αυτοκινήτου που απαιτούν μεγάλη σταθερότητα. Μερικά παραδείγματα είναι τα μη οργανικά εξαρτήματα πάνω στον κινητήρα και οι οροφές. Όλα αυτά τα μέρη δεν πρέπει να υφίστανται καμία ελαστική παραμόρφωση από τα αέρια ρεύματα. Οι δονήσεις πρέπει να αποφεύγονται. Οι αφροί αλουμινίου λόγω των καλών μονωτικών τους ιδιοτήτων είναι μια καλή λύση για αυτά τα μέρη του αυτοκινήτου.

3. Στην τρίτη ομάδα ανήκουν εφαρμογές που χρησιμοποιούν τις καλές ηχο-θερμομονωτικές ιδιότητες των αφρών αλουμινίου. Οι ηχομονωτικές ιδιότητες κάνουν τους αφρούς χρήσιμους για την ηχομόνωση του τμήματος της μηχανής του αυτοκινήτου. Ο στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι να μην έχουμε μεταφορά των θερμών στον θάλαμο των επιβατών και στο περιβάλλον.



Διατομή ενός ASF (Aluminium Foam Sandwich) Karmann Γερμανία

Μια ενδιαφέρουσα ιδέα έχει αναπτυχθεί από την Karmann στην Γερμανία. Το AFS είναι ένα φύλλο αλουμινίου γεμάτο με αφρό αλουμινίου. Παράγεται από ένα πρόδρομο αφοροποιήσιμο υλικό και δυο φύλλα αλουμινίου, τα οποία παίρνουν το επιθυμητό σχήμα με έλαση. Μετά από την διαδικασία της έλασης το υλικό τοποθετείται σε ένα κλίβανο για να γίνει η αφοροποίηση. Το πάχος του αφρού κυμαίνεται από 8 έως 12mm ενώ τα εξωτερικά φύλλα του αλουμινίου έχουν πάχος περίπου 1mm. Το AFS είναι 50% ελαφρύτερο και 10 φορές πιο δύσκαμπτο από ένα φύλλο σιδήρου. Συγκριτικά με το “πυκνό” αλουμίνιο προσφέρει 95% μεγαλύτερη ηχομόνωση. Ο συνδυασμός αυτών των ιδιοτήτων κάνει τα AFS εξαιρετικά υλικά για τα σώματα των αυτοκινήτων. Εξαιτίας της υψηλής αντοχής στην στρέψη και της ακαμψίας μπορούν να μειωθούν τα μέρη που πρέπει να συναρμολογηθούν σε ένα σώμα αυτοκινήτου.



Πρωτότυπο αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί αφρό αλουμινίου. Karmann Γερμανία

Ένα παράδειγμα είναι το σώμα αυτοκινήτου από αφρό αλουμινίου που έχει φτιαχτεί σαν πρωτότυπο και φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα. Τα μέρη από AFS σε συνδυασμό με το “διαστημικό” πλαίσιο αυξάνουν την ακαμψία στο σώμα του αυτοκινήτου. Η σταθερότητα αυτού του “διαστημικού” πλαισίου είναι 30% μεγαλύτερη χάρη στα κομμάτια από AFS. Το “διαστημικό” πλαίσιο είναι μεταλλικός σκελετός παρόμοιος με εκείνο γύρω από το οποίο χτίζονται τα αεροσκάφη. Τα πάνελ του σώματος του αυτοκινήτου συνδέονται σε αυτόν τον σκελετό στα σκληρά σημεία, και έτσι

προσθέτουν αντοχή καθώς επίσης καθιστούν τη δομή αεροδυναμική. Το μεγαλύτερο μέρος του διαστημικού-πλαισίου διαμορφώνεται από τμήματα των οποίων τα πάχη ποικίλλουν για να διανεμούν τις πιέσεις ομοιόμορφα.

## **6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ**

Χάρη στο χαμηλό τους βάρος οι αφροί αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αεροδιαστημική. Παραδείγματος χάριν φύλλα σάντουιτς ή αφρού αλουμινίου μπορούν να αντικαταστήσουν τις δομές “honeycomb”. Αυτό θα είχε πολλά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένο κόστος, απουσία κολλήσεων, η οποία θα βοηθούσε ώστε να παραμείνει η δομή ακέραια σε περίπτωση φωτιάς. Παρόλα αυτά αναμένονται πολλά αποτελέσματα από την έρευνα που γίνεται πάνω στην συμπεριφορά των αφρών στην κόπωση.

## **6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ**

Στην ναυσιπλοία η ανάγκη για μείωση του βάρους είναι επίσης σημαντική. Αλλά σε σχέση με την αυτοκινητοβιομηχανία, χρειάζεται και υψηλή ευελιξία στην παραγωγή των υλικών, επειδή τα πλοία δεν κατασκευάζονται σε γραμμή παραγωγής με τυποποιημένα μέρη. Γι’ αυτό τα πάνελ αφρού αλουμινίου πλεονεκτούν. Προϋπόθεση όμως για την χρήση τους, αποτελεί η ανάπτυξη κατάλληλων στοιχείων σύνδεσης και η έρευνα της διάβρωσης των αφρών αλουμινίου σε θαλασσινό νερό. Έρευνες που βρίσκονται σε αρχικό στάδιο έχουν δείξει ότι στους PM-αφρούς αλουμινίου με κλειστούς πόρους, διάλυμα χλωριούχου νατρίου μπορεί να εισχωρήσει μόνο επιφανειακά χωρίς να προκαλεί ατέλειες στην δομή του υλικού.

## **6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Στα κτήρια και στις κατασκευές υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα χρήσης των αφρών αλουμινίου, κυρίως εξαιτίας της καλής αντίστασης στην διείσδυση της φωτιάς και των θερμομονωτικών ιδιοτήτων. Παραδείγματος χάριν προφίλ από αφρό αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εξωτερικές προσόψεις κτηρίων ή σαν καλύμματα των εσωτερικών τοίχων. Και στις δυο περιπτώσεις οι αφροί βοηθάνε στην εξοικονόμηση ενέργειας χάριν στις καλές θερμομονωτικές τους ιδιότητες. Μια άλλη ιδιότητα των αφρών αλουμινίου που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε στις κατασκευές είναι η ηχομόνωση. Οι αφροί αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ηχοαπορροφητικά υλικά σε σιδηροδρομικά τούνελ, κάτω από γέφυρες στις εθνικές οδούς ή μέσα σε κτήρια.

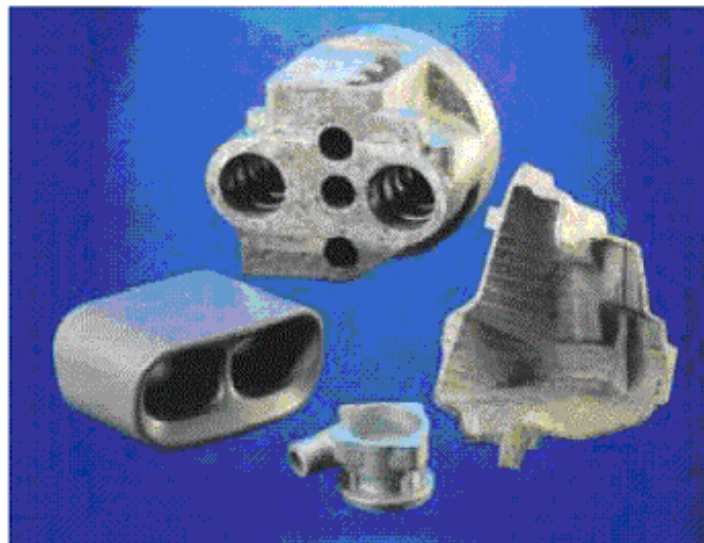


Κατασκευή ηχοαπορροφητική στο κάτω μέρος γέφυρας  
(Foam Alporas, Shinko Wire, Japan)

Ένα άλλο πεδίο εφαρμογών είναι τα χαμηλού βάρους δομικά στοιχεία. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητές γέφυρες ή σε κατασκευές που βρίσκονται ψηλά για να μην χρησιμοποιούμε ανυψωτικά μηχανήματα (π.χ σε οροφές ή τοίχους).

## 7. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Οι αφροί αλουμινίου ανακυκλώνονται με την ίδια ευκολία όπως και το “πυκνό” αλουμίνιο. Σε κάποιες περιπτώσεις όταν έχουμε πολύ χαμηλή πυκνότητα ή πολύ μεγάλα κομμάτια είναι καλύτερα αυτά να συμπιεστούν πριν την τήξη. Η ανακύκλωση γίνεται όχι μόνο για περιβαλλοντολογικούς λόγους αλλά και γιατί είναι μια επικερδής διαδικασία για την βιομηχανία του αλουμινίου.



Πολύπλοκα εξαρτήματα από αφρό αλουμινίου