

# ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6ΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1986

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΤΡΥΠΑΝΗ

## ΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ — ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΤΙΚΟΥ κ. ΛΟΥΚΑ ΜΟΥΣΟΥΛΟΥ

Σὲ πρόσφατη δμιλία μας ἀπὸ τοῦ βῆματος αὐτοῦ προσπαθήσαμε νὰ ἐπισύρουμε τὴν προσοχὴ σὲ μιὰ νέα κατηγορία προϊόντων τῆς Μεταλλουργίας, τὰ σύνθετα ύλικά, καὶ ἐκφράσαμε δρισμένες ἀπόψεις γιὰ τὴν ἐπίδραση ποὺ μποροῦν νὰ ἔξασκήσουν τὰ ύλικά αὐτὰ πάνω στὶς κατασκεναστικὲς βιομηχανίες. Στὴν παροῦσα δμιλία θὰ ἐπιχειρήσουμε νὰ παρουσιάσουμε τὴ σημασία ποὺ ἀπέκτησε ἡδη ἡ χρήση τους σὲ μιὰ ιδιαίτερα κρίσιμη περίπτωση, τὴν κατασκευὴν ἀεροσκαφῶν καὶ νὰ συζητήσουμε συντόμως τὶς διαγραφόμενες περαιτέρω ἔξελίξεις.



Στὴν κατασκευὴ τῶν συγχρόνων ἀεροσκαφῶν χρησιμοποιοῦνται σήμερα κατ' οὐσία τέσσερα κυρίως ύλικά: κράματα ἀλονμινίον, τιτανίον, σιδήρον καὶ σύνθετα ύλικά. Σύμφωνα μὲ τὴν κρατοῦσα τεχνικὴ ἀντίληψη ἀναζητεῖται ὁ κατὰ τὸ δυνατὸν καλύτερος συνδυασμὸς σὲ τρόπο νὰ ἔξασφαλίζονται οἱ ἀπαιτήσεις ἀντοχῆς μὲ τὸ μικρότερο βάρος, χωρὶς νὰ παρορᾶται βέβαια τὸ πρόβλημα τοῦ κόστους.

Τὰ συγκροτοῦντα ἔνα σύγχρονο ἀεροσκάφος τμῆματα ἢ τεμάχια μποροῦν νὰ καταταχθοῦν σὲ τέσσερις κατηγορίες: (α) τὰ βασικὰ ποὺ περιλαμβάνονται τὸν σκελετό, τὸ σῶμα, τὶς πτέρυγες κλπ. (β) τὰ εἰδικὰ στὰ ὅποια ἐμπίπτουν οἱ ἐσωτε-

ρικές διαρρυθμίσεις καὶ διάφορες συσκευές (γ) τὰ τεχνικὰ δργανα δδηγήσεως καὶ πλεύσεως· τέλος (δ) οἱ κινητῆρες.

*\*Από κράματα ἀλουμινίου (ἔλαφρὸ κράμα 2024) κατασκευάζεται σήμερα τὸ μέγιστο μέρος τῶν βασικῶν τμημάτων. Τὰ κράματα τιτανίου χρησιμοποιοῦνται μόνο γιὰ τεμάχια ποὺ ύποβάλλονται σὲ ύψηλές θερμοκρασίες, ἐνῷ ἡ χρήση τοῦ χάλυβος, δηλαδὴ τῶν κραμάτων σιδήρου, περιορίζεται στὸ σύστημα προσγειώσεως καὶ τοὺς κινητῆρες. Στὰ εἰδικὰ τμήματα κυριαρχεῖ ἥδη ἡ χρήση συνθέτων όλικῶν. Εἰδικότερα γιὰ τὶς ἐσωτερικές διαρρυθμίσεις χρησιμοποιοῦνται σύνθετα ὄντων ύάλου καὶ Kevlar, γιὰ τὰ πηδάλια καὶ ἀερόφρενα σύνθετα ἵνων ἀνθρακος.*

*\*Η σημερινὴ αὐτὴ εἰκόνα κατανομῆς γίνεται κατανοητὴ ἐὰν ληφθοῦν ὑπὸ δψη τὰ μηχανικὰ χαρακτηριστικὰ τῶν διαφόρων όλικῶν καὶ τὸ κόστος τούτων.*

*Πράγματι, διατίθενται σήμερα σὲ χαμηλὲς σχετικῶς τιμὲς (~\$ 4/Kg), ἔλαφρὰ κράματα ἀλουμινίου (τύπος 2024) ἵνανοποιητικῆς μηχανικῆς ἀντοχῆς, μεγάλης ἀντιστάσεως στὴ φωγμάτωση ἀπὸ κόπωση καὶ σημαντικῆς σκληρότητος, ποὺ ἐπιτυγχάνεται μὲ προσθῆκες Zr, Mg, Cu. Διατίθενται ἐπίσης κράματα τιτανίου ἀρίστων μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν, ἡ ύψηλὴ δμως τιμὴ τούτων (~\$ 55 / Kg) περιορίζει οὖσιαστικῶς τὴ χρήση τους. Εἰς δ, τι ἀφορᾶ τὸ χάλυβα, τοῦ δποίου τὰ μηχανικὰ χαρακτηριστικὰ εἶναι ἀριστα καὶ ἡ τιμὴ πολὺ χαμηλή, ἡ χρήση του δὲν μπορεῖ νὰ ἐπεκταθεῖ λόγω μεγάλου εἰδικοῦ βάρους καὶ περιορίζεται ἀναγκαστικῶς στὰ στοιχεῖα μικρῶν διαστάσεων ποὺ ύποκεινται σὲ ἴσχυρος φορτίσεις.*

*Ἄντα σχετικῶς μὲ τὰ μεταλλικὰ όλικά, ποὺ εἰσήχθησαν τὰ τελευταῖα χρόνια, παρουσιάζονται κάτω ἀπὸ διαφορετικὲς συνθῆκες. Υπενθυμίζομεν δτι πρόκειται περὶ όλικῶν ἀπὸ ρητίνες ἐνισχυμένες μὲ ἔλαφρες καὶ ἀνθεκτικές ἵνες ύάλου, ἀνθρακος κλπ., τῶν δποίων ἡ διάμετρος εἶναι τῆς τάξεως τῶν 5 ἔως 10 μμ. Σὲ τέτοια όλικὰ ἐνισχυμένα κατὰ μίαν μόνο διεύθυνση ύπάρχουν 10.000 ἔως 20.000 ἵνες ἀνὰ mm<sup>2</sup> καθέτου διατομῆς. Τὰ όλικὰ αὐτά, κατασκευαζόμενα σήμερα ἀπὸ ἐποξικὲς ρητίνες καὶ ἵνες ἀνθρακος, εἶναι περίπου κατὰ 3 φορὲς ἀνθεκτικότερα καὶ κατὰ 2 φορὲς δυσκαμπτότερα ἀπὸ ἓνα ἔλαφρὸ κράμα ἀλουμινίου, τὸ δποῖο ἔχει σχεδὸν διπλάσιο εἰδ. βάρος.*

*\*Ἀκόμη καλύτερες μηχανικὲς ἴδιότητες ἐπετεύχθησαν τελευταίως μὲ τὴν ἀντικατάσταση τῶν ἐποξικῶν ρητίνῶν γιὰ θεμελιώδη μάζα ἀπὸ θερμοπλαστικὲς ρητίνες, οἱ δποῖες μαλακύνονται ἀντιστρεπτῶς σὲ ύψηλές θερμοκρασίες. Η δὲ εἰσαγωγὴ μεταλλικῶν θεμελιωδῶν μαζῶν (δπως ἀλουμίνιο γραφίτης) δδηγήσε στὴν παρασκευὴ συνθέτων ποὺ διατηροῦν καὶ συνδυάζουν πλεονεκτήματα τῶν μετάλλων δπως ἡ εύκολα τῆς μορφοποιήσεως καὶ τῶν συνθέτων μὲ βάση τὶς ρητίνες, δπως ἡ ἀκαμψία.*

*"Ετσι, διατίθενται σήμερα σύνθετα όλικά, τὰ δόποια συμπεριφέρονται σὲ κόπωση πολὺ καλύτερα ἀπὸ τὰ μέταλλα. "Οπως δὲ φαίνεται στὸ παρατιθέμενο διάγραμμα, ἐνῶ ἡ ἀντίσταση στὴν κόπωση τῶν ἐλλαφῶν κραμάτων ἢ τοῦ χάλυβος μειοῦται περισσότερον τοῦ ἡμίσεος ὅταν ὑποβάλλεται σὲ μεγάλο ἀριθμὸν ἐναλλασσομένων ἔλξεων, ἡ μείωση τῆς ἀντίστάσεως τῶν συνθέτων μόδις φθάνει τὸ 10 ἔως 20%. Εἶναι φανερὸν ὅτι ἡ ἰδιότητα αὐτὴ εἶναι πολὺ σημαντικὴ γιὰ τὰ ἀεροσκάφη ὅπου κοπώσεις αὐτῆς τῆς φύσεως εἶναι συνήθεις.*

*Κάτω ἀπὸ τὶς συνθῆκες αὐτὲς ἡ χρήση τῶν συνθέτων όλικῶν στὴν ἀεροναπηγικὴ καὶ ἰδιαίτερα στὴν κατασκευὴ τῶν βασικῶν τμημάτων τοῦ ἀεροσκάφους, κερδίζει ἔδαφος καὶ ἀναμένεται νὰ σημειώσει οὐσιαστικές ἐξελίξεις. Ἡ συμμετοχὴ τους π.χ. στὴν κατασκευὴ τοῦ ἀεροσκάφους AIRBUS A 310 εἶναι σήμερα 5.5% τοῦ βάρους καὶ προβλέπεται νὰ ὑπερβεῖ, περὶ τὸ 1990, τὸ 30%. Κατὰ τὶς ἐκτιμήσεις δὲ τῆς κατασκευαστρίας *"Εταιρείας, τῆς AEROSPATIALE*, τὸ βάρος κατὰ τὴν ἀπογείωση τῶν ἀεροσκαφῶν τοῦ τύπου αὐτοῦ, ποὺ γιὰ μεταφορὰ 68 τόννων ὠφελίμου φροτίου σὲ ἀπόσταση 8300 Km, εἶναι σήμερα 363 τόννοι, ὑπάρχει δυνατότητα νὰ μειωθεῖ μὲ τὴν τεχνολογία τῶν συνθέτων, σὲ 245 τόννους. Ἡ ἀντίστοιχη δὲ συμπίεση τῆς καταναλώσεως κανονίμου ὑπολογίζεται ὅτι θὰ ὑπερβεῖ τὸ 33%.*

*Τὰ παραπάνω ἀναφέρονται στὴ χρήση τῶν συνθέτων όλικῶν στὰ βασικὰ τμήματα τοῦ ἀεροσκάφους. Τὰ όλικὰ δμώς αὐτὰ ἔχουν ἥδη εὑρέως εἰσαχθεῖ στὴν κατασκευὴ τῶν εἰδικῶν τμημάτων. Διαφανῆ τῶν παραθύρων, τεμάχια ἐσωτερικῶν διαμορφώσεων, σωλῆνες γιὰ τὰ όδραντικά ύγρα καὶ τὰ καύσιμα κλπ. κατασκευάζονται σήμερα ἀπὸ σύνθετα όλικά. Φυσικὰ ἐδῶ οἱ ἰδιότητες εἶναι διάφορες ἐκείνων οἱ δοποῖς ἀπαιτοῦνται γιὰ τὰ όλικὰ ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴν κατασκευὴ τοῦ σώματος τοῦ ἀεροσκάφους. *"Ετσι γιὰ τὰ όλικὰ τῶν ἐσωτερικῶν διαρρυθμίσεων προέχει π.χ. ἡ ἰδιότητα τῆς εὐφλεκτότητος.**

*Εἰς δὲ, τι ἀφορᾶ τὴ χρήση συνθέτων όλικῶν στὸν τομέα τῶν ὁργάνων ὅδηγή-σεως καὶ πλεύσεως, θὰ πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὁ δλονὲν καὶ αὐξανόμενος ρόλος τῆς ἡλεκτρονικῆς καὶ πληροφοριακῆς στὸν τομέα τοῦτο. Σημαντικὲς ποσότητες πολυμερῶν καταναλίσκονται σήμερα γιὰ κατασκευὴ στηριγμάτων καὶ ὑποδοχῶν τῶν νέων ἡλεκτρονικῶν συστημάτων.*

*Τέλος, οἱ κινητῆρες ἀποτελοῦν τὸ τμῆμα, ὅπου ἡ χρήση συνθέτων όλικῶν ἀποκλείεται κατ' ἀρχὴν λόγω ὑψηλῆς θερμοκρασίας. Σὲ ἐξαιρετικὰ μόνον μέρη μπορεῖ νὰ γίνει σκέψη γιὰ σύνθετα όλικά. Εἶναι ἡ περίπτωση π.χ. τῶν κυκλωμάτων ψυχροῦ ἀέρος τῶν Turboreacteurs. Πάντως, ἐρευνεῖς εὑρίσκονται σὲ ἐξέλιξη γιὰ τὴ χρησιμοποίηση συνθέτων κεραμικῆς θεμελιώδους μάζας καὶ συγκε-*

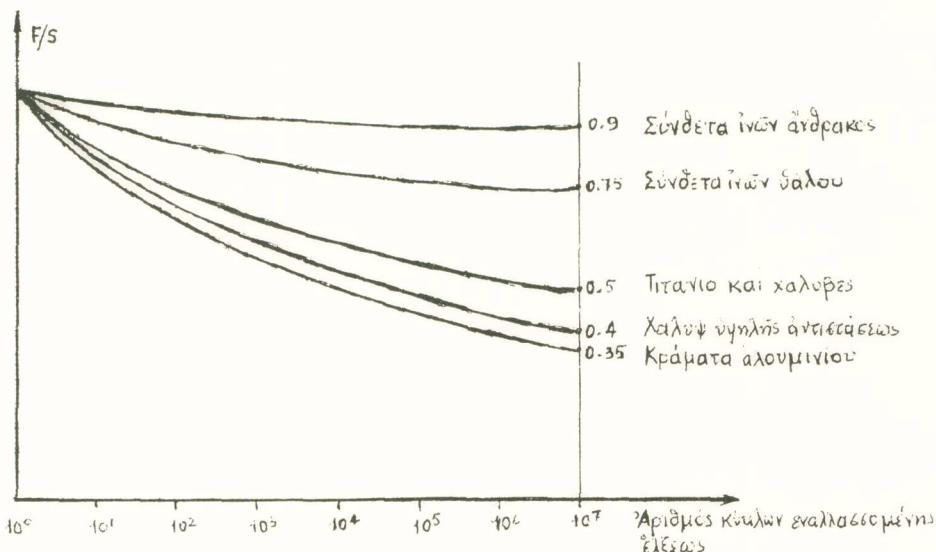
κοιμένως συνθέτων  $SiC$  μὲ ἐνίσχυση ἵνων ἐκ τοῦ αὐτοῦ ύλικοῦ ποὺ παρουσιάζουν ἐξαιρετική συμπεριφορὰ στὶς ψηφλές θερμοκρασίες.

\* \* \*

Καταλήγοντας θὰ πρέπει νὰ ὑπενθυμίσουμε ὅτι ἡ ἐπιλογὴ τῶν ύλικῶν ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴν ἀεροναυπηγικὴ γίνεται μὲ κριτήρια ὅχι μόνο τεχνικὰ ἀλλὰ καὶ οἰκονομικά. Στὰ τελευταῖα λαμβάνονται βεβαίως ὑπὸ ὅψη ἐκτὸς τοῦ ἀρχικοῦ κόστους τοῦ ύλικοῦ καὶ οἱ ἐπιπτώσεις ποὺ ἡ ἐπιλογὴ τοῦ μπορεῖ νὰ ἔχει πάνω στὸ κόστος τῆς κατασκευῆς καὶ τῆς ἐκμεταλλεύσεως.

Ἡ χρήση τῶν συνθέτων ποὺ περιορίζετο κατ' ἀρχὰς σὲ εἰδικὲς ἐφαρμογές, ἔλαβε σήμερα σημαντικὲς διαστάσεις στὴν κατασκευὴ τῶν βασικῶν μερῶν. Καὶ ὑπάρχει τάση ταχείας καὶ οὐσιαστικῆς περαιτέρω ἐπεκτάσεως.

Ἐδῶ θὰ πρέπει ἐν τούτοις νὰ σημειώσουμε ὅτι ἡ τάση αὐτὴ μπορεῖ ἐνδεχομένως νὰ ἐπηρεασθεῖ ἀπὸ τὴν ἀντίδραση τῆς κλασικῆς Μεταλλονοργίας ποὺ καταβάλλει ἥδη σύντονες προσπάθειες ἀναπτύξεως βελτιωμένων ἐλαφρῶν κραμάτων. Ἀποτέλεσμα τῆς προσπαθείας αὐτῆς εἶναι π.χ. ἡ πρόσφατη ἐμφάνιση τοῦ νέου κράματος  $Al-Li$  μὲ περιεκτικότητα 2-4%  $Li$ , τὸ διόπτο φέρεται νὰ παρουσιάζει



Διάγραμμα δεικνύον τὴν ἀντοχὴν στὴν κόπωση τῶν διαφόρων ύλικῶν

$F$  Δύναμη θραύσεως ὑπὸ συνθῆκες ἐναλλασσομένης ἐλέγχου.

$S$  Δύναμη ἐλέγχους προκαλοῦσσα τὴν θραύση ὑπὸ στατικές συνθῆκες.

ξέαιρετα μηχανικά χαρακτηριστικά, ἐνῶ ἔχει μειωμένο εἰδ. βάρος. Τὸ τελευταῖο τοῦτο, συνάρτηση τῆς παρουσίας τοῦ *Li*, ἐλαττοῦται κατὰ 3% μὲν κάθε προσθήκη 1% λιθίου.

Θὰ ἔχετε, ἀσφαλῶς, παρατηρήσει δτὶ δσα ἀνέφερα ἀφοροῦν στὴν πολιτικὴν Ἀεροπορία. Πολὺ διαφορετικὴ παρουσιάζεται ἡ κατάσταση στὴν Πολεμικὴν Ἀεροπορία. Ἐδῶ δμως οἱ ἔξελιξεις καλύπτονται ἀπὸ τὸ πέπλον μυστικότητος. Πάντως πολὺς λόγος γίνεται τελευταίως γιὰ τὸ ἀόρατο μαχητικὸ τῶν *Hn. Politeiwn*. Τὸ ἀεροπλάνο ποὺ καταστράφηκε πρὸ τινος στὴν ἀεροπορικὴν βάση τοῦ *Nellis* καὶ ποὺ φέρεται νὰ εἴναι τὸ καταδιωκτικὸ *F19*, ἔχει κατά τινες πληροφορίες, τὰ βασικά τον μέρη κατασκευασμένα κατὰ 95% ἀπὸ σύνθετα.