



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΕΔΡΟΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7721099, FAX: 7721057

Αρ.Πρωτ.: 6037

Αθήνα, 5-10-2012

**Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών**

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του κ. Κωστάζου Πρωτεσίλαου, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ, που θα πραγματοποιηθεί την Παρασκευή 19 Οκτωβρίου 2012, ώρα 13:00, στην Αίθουσα Διδασκαλίας του κτιρίου Ξ, 2^{ος} όροφος Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

**«Συστήματα Απορρόφησης Ενέργειας: Ανάλυση Κατασκευών Λεπού Πάχους
από Σύνθετα Υλικά»**

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ

Δ. Ε. Παπαντώνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Διδακτορική Διατριβή Πρωτεσίλαου Κ. Κωστάζου

**«Συστήματα Απορρόφησης Ενέργειας: Ανάλυση Κατασκευών Λεπτού Πάχους
από Σύνθετα Υλικά»**

Περίληψη

Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας ενός στοιχείου ή συστήματος εκτεθειμένου σε πρόσκρουση διέπεται από το δομικό σχεδιασμό του και τις ιδιότητες των υλικών. Η ανάπτυξη του τομέα σχεδιασμού οχημάτων έχει προσανατολιστεί στη χρήση υβριδικών σύνθετων sandwich κατασκευών, που χαρακτηρίζονται από περιορισμένο βάρος και βελτιωμένο επίπεδο συμπεριφοράς σε συνθήκες πρόσκρουσης από τη σκοπιά της απόδοσης στην απορρόφηση ενέργειας και της αύξησης της ασφάλειας.

Το αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής είναι η πειραματική διερεύνηση και η ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων της συμπεριφοράς κατάρρευσης (τρόποι παραμόρφωσης, ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, διακύμανση θλιπτικού φορτίου, χαρακτηριστικά ζώνης θραύσης) τετραγωνικών κελυφών από υβριδικό σύνθετο (FRP - Fibre-Reinforced Plastic) sandwich υλικό με πυρήνα αφρού ενισχυμένο με FRP ένθετα απορρόφησης ενέργειας.

Στην εισαγωγή της διατριβής γίνεται αναφορά στον όρο “crashworthiness” και την εφαρμογή του στη λογική του σχεδιασμού παθητικής ασφάλειας των μέσων μεταφοράς. Παρουσιάζεται επίσης μια ανασκόπηση - με τη σχετική βιβλιογραφική επισκόπηση - της εφαρμογής σύνθετων, αφρώδων και σύνθετων sandwich με αφρώδη πυρήνα κατασκευών σε συστήματα απορρόφησης ενέργειας, μαζί με τις συνήθειες μορφές αστοχίας και κατάρρευσης αυτών σε καθιερωμένους τρόπους φόρτισης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση συμπληρώνεται με τις πρόσφατες αναλυτικές και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων προσεγγίσεις μοντελοποίησης της συμπεριφοράς κατάρρευσης των παραπάνω υλικών και κατασκευών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα της αξονικής και της πλευρικής καταπόνησης υβριδικών τετραγωνικών κελυφών sandwich δομής σύνθετου υλικού με πυρήνα αφρού και FRP ενισχυτικά ένθετα απορρόφησης ενέργειας. Εξετάζονται δύο διαφορετικές υβριδικές sandwich δομές: η πρώτη, αναφερόμενη ως sandwich σύστημα “corrugated” πυρήνα, αποτελείται από περιβλήματα πολύστρωτου σύνθετου υλικού με ίνες γυαλιού σε φαινολική μήτρα και πυρήνα αφρού πολουρεθάνης ενισχυμένο με αυλακωτό έλασμα παρόμοιο με εκείνο των περιβλημάτων. Η δεύτερη, αναφερόμενη ως sandwich σύστημα “tubular”

πυρήνα, αποτελείται από ίδια σύνθετα πολύστρωτα περιβλήματα και αφρό πυρήνα με τα αντίστοιχα της “corrugated” δομής, ενώ η ενισχυτική κατασκευή του πυρήνα αποτελείται από FRP ένθετους κυλινδρικούς σωλήνες απορρόφησης ενέργειας. Εξετάζονται επίσης οι τρόποι αστοχίας σε μακρο- και μικροσκοπικό επίπεδο καθώς και η απορρόφηση ενέργειας των κατασκευών. Η συμπεριφορά κατάρρευσης των κελυφών φαίνεται ότι επηρεάζεται ιδιαίτερα από το δομικό σχεδιασμό και τις ιδιότητες των υλικών των σύνθετων sandwich κελυφών. Επιπλέον, διερευνάται και αναλύεται η επίδραση διαφόρων μηχανισμών triggering (κατασκευές triggering τύπου “chamfer” (λοξότμηση) και “tulip” (μοτίβο τουλίπας)) στο ένα άκρο των εξεταζόμενων δοκιμίων, ενώ επισημαίνονται οι διαφοροποιήσεις που προκύπτουν λόγω των τύπων triggering και μεταξύ αυτών. Τα κύρια αποτελέσματα αυτής της μελέτης είναι η αποτίμηση της απορρόφησης ενέργειας των σύνθετων sandwich κατασκευών σε συνθήκες θλιπτικής καταπόνησης. Τα sandwich κελύφη της “corrugated” δομής παρουσιάζουν γενικά ανώτερη απόκριση αναφορικά με τις ιδιότητες απορρόφησης ενέργειας κατάρρευσης και την αντοχή σε σχέση με την “tubular” δομή.

Κατόπιν, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες πτυχές της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method) και του “explicit” κώδικα πεπερασμένων στοιχείων, Ls-Dyna, που σχετίζονται με την προσομοίωση της συμπεριφοράς κατάρρευσης των σύνθετων sandwich κατασκευών, και αφορούν στο explicit σχήμα ολοκλήρωσης, την τεχνολογία των πεπερασμένων στοιχείων, την ανάλυση της αλληλεπίδρασης επαφής και τη μοντελοποίηση των (σύνθετων) υλικών. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της μοντελοποίησης της αλληλεπίδρασης επαφής στην explicit ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων των κατασκευών πρόσκρουσης, περιλαμβάνεται εκτεταμένη διερεύνησή της, αναφερόμενη στην ακριβή προσομοίωση με τον κώδικα Ls-Dyna σε ειδικές συνθήκες επαφής: επαφή μεταξύ επιφανειών διδιάστατων (shell) πεπερασμένων στοιχείων με θεώρηση αντισταθμίματος του πάχους, επαφή μεταξύ ακμών πεπερασμένων στοιχείων, ανανέωση επαφής μεταξύ τμημάτων με εξαλειφθέντα στοιχεία λόγω προσομοίωσης αστοχίας υλικού.

Ακολούθως, αναπτύσσεται η εφαρμογή του explicit κώδικα πεπερασμένων στοιχείων, Ls-Dyna στην προσομοίωση της συμπεριφοράς κατάρρευσης και των χαρακτηριστικών απορρόφησης ενέργειας των τετραγωνικών κελυφών υβριδικού sandwich σύνθετου υλικού, δύο διαφορετικών δομικών διατάξεων ενισχυμένου

πυρήνα αφρού, τα οποία υπόκεινται σε αξονική θλιπτική καταπόνηση. Η διαδικασία μοντελοποίησης αφορά κυρίως στα εξής: δημιουργία μοντέλου (πλέγματος) πεπερασμένων στοιχείων, επιλογή τύπου και ιδιοτήτων των πεπερασμένων στοιχείων για τα επιμέρους τμήματα του μοντέλου, επιλογή μοντέλων υλικών και χαρακτηρισμός, καθορισμός κριτηρίων αστοχίας των υλικών, προσδιορισμός διεπιφανειών και τύπων επαφής, διαχείριση της επαφής κατόπιν αστοχίας των υλικών μεταξύ των αλληλεπιδρώντων τμημάτων και εντός του καθενός εξ αυτών (ανεξάρτητα), ορισμός συνοριακών συνθηκών. Τα προκύπτοντα αριθμητικά αποτελέσματα παραβάλλονται με τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα αναφορικά με τους τρόπους κατάρρευσης, την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, τη διακύμανση του φορτίου και τα χαρακτηριστικά της ζώνης θραύσης, επιδεικνύοντας πολύ καλή συμφωνία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της προηγηθείσας διερεύνησης της μοντελοποίησης της επαφής, και μετά από περαιτέρω εξέταση των επιλογών του κώδικα, προτείνονται στη συνέχεια τεχνικές προσομοίωσης που αφορούν στις βασικές μορφές αστοχίας των πολύστρωτων σύνθετων υλικών, όπως η διαστρωματική αποκόλληση και η θραύση, σε συνδυασμό με μια σύντομη καταγραφή και την αντίστοιχη βιβλιογραφική επισκόπηση των τρεχουσών προσεγγίσεων μοντελοποίησης.

Στο τέλος παρουσιάζεται μια σειρά τελικών απολογιστικών σχολίων και συμπερασμάτων, που προκύπτουν από το σύνολο των πειραματικών δοκιμών και της διερεύνησης μοντελοποίησης με πεπερασμένα στοιχεία, αναφορικά με τη συμπεριφορά κατάρρευσης (τρόποι κατάρρευσης και ικανότητα απορρόφησης ενέργειας) των σύνθετων sandwich κελυφών. Επιπλέον, περιλαμβάνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σε συνέχεια των προτεινόμενων τεχνικών της προηγούμενης ενότητας.