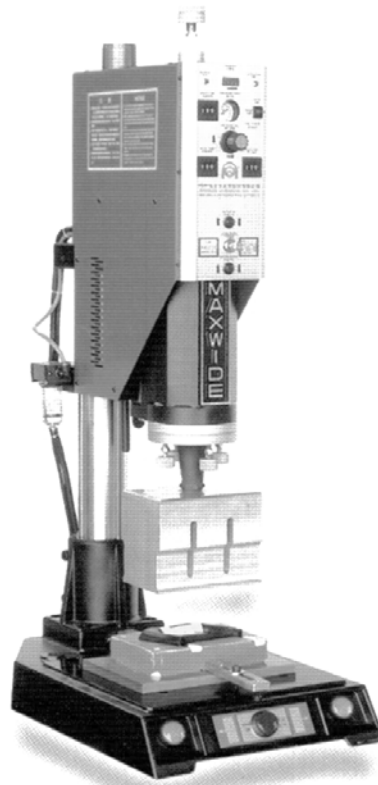




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. Δ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ



ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΑΝΤΡΟΣ ΕΛΙ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.

Αθήνα 2010

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη τεχνική συγκόλλησης των πολυμερών με υπέρηχους και τον όλο και αυξανόμενο ρόλο της στις βιομηχανίες σήμερα.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τις διάφορες τεχνικές συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση των πολυμερών και τις συγκρίνουμε με την συγκόλληση με υπέρηχους. Θα εξηγήσουμε την διαδικασία της συγκόλλησης με υπέρηχους και ύστερα θα αναλύσουμε την διαδικασία της τεχνικής αυτής, θεωρητικά και πρακτικά. Ειδικά αυτή η εργασία εστιάζεται στους περιορισμούς, στις παραμέτρους, και στις τεχνικές που πρέπει να ακολουθούμε έτσι ώστε να επιτυχαίνουμε μια σωστή, καλή, και δυνατή συγκόλληση. Επίσης ένα μέρος αυτής της εργασίας αναφέρεται στην πασσάλωση και στην παρεμβολή μετάλλων στα πολυμερή σώματα με την χρήση των υπέρηχων.

« Θα ήθελα σ' αυτό το σημείο να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κ. Δ. Μανωλάκο για την υποστήριξη, τη βοήθεια και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν, οικογένεια και φίλους καθ' όλη την διαμονή μου στη Ελλάδα. »

Elie A. Sandros

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	2
Πίνακας περιεχομένων	3
Ευρετήριο σχημάτων.....	6
Ευρετήριο πινάκων.....	7
Ευρετήριο διαγραμμάτων.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 2: Διαδικασίες πλαστικής συγκόλλησης	12
2.1. Διαδικασίες.....	12
2.1.1 Συγκόλληση τριβής	12
2.1.2 Συγκόλληση δόνησης.....	14
2.1.3 Συγκόλληση θερμασμένων πλακών	14
2.1.4 Συγκόλληση θερμού αερίου	16
2.1.5 Συγκόλληση μοσχευμάτων.....	17
2.1.6 Συγκόλληση λέιζερ.....	17
2.1.7 Συγκόλληση με υπέρηχους.....	19
2.2. Πώς συγκρίνεται η συγκόλληση με υπέρηχους με άλλους μεθόδους πλαστικής συγκόλλησης	21
2.2.1 Μηχανικοί σύνδεσμοι.....	21
2.2.2 Συγκόλληση με χρήση Κόλλας	21
2.2.3 Συγκόλληση περιστροφής	22
2.2.4 Συγκόλληση δόνησης.....	22
2.2.5 Συγκόλληση θερμασμένων πλακών	22
Κεφάλαιο 3: Συγκόλληση με υπέρηχους.....	23
3.1. Ιστορία.....	23
3.2. Εφαρμογές.....	23
3.2.1 Βιομηχανίες υπολογιστών & ηλεκτρικών	24
3.2.2 Αεροδιαστημικές & αυτοκινητοβιομηχανίες.....	25
3.2.3 Ιατρική βιομηχανία.....	26
3.2.4 Βιομηχανίες συσκευασίας.....	27
3.3. Περίληψη.....	28
Κεφάλαιο 4: Μηχανή συγκόλλησης με υπέρηχους.....	29
4.1. Επισκόπηση μίας μηχανής συγκόλλησης με υπέρηχους.....	29
4.2. Εξοπλισμός μίας μηχανής συγκόλλησης υπέρηχους.....	30

4.2.1	Γεννήτρια.....	30
4.2.2	Μηχανική πρέσα.....	31
4.2.3	Η στοιβία συγκόλλησης (welding stack).....	31
4.2.4	Το κέρασ συγκόλλησης (sonotrode ή welding horn).....	33
4.2.5	Βάση υποστήριξης.....	35
Κεφάλαιο 5: Διαδικασία συγκόλλησης με υπερήχους		36
Κεφάλαιο 6: Η συγκόλληση με υπερήχους στη Θεωρία.....		40
6.1.	Η ιξώδης-ελαστική συμπεριφορά των θερμοπλαστικών.....	40
6.2.	Η σημασία του ενεργειακού κατευθυντή (energy director)	42
6.3.	Ενεργειακός διασκορπισμός.....	44
6.4.	Επίδραση της συχνότητας και της θερμοκρασίας στο E' και E''	45
6.5.	Ο σχεδιασμός των Συστατικών (component design) στην συγκόλληση με υπέρηχους.....	46
6.5.1	Η ένωση προβολής.....	47
6.5.2	Η κοφτή ένωση shear joint.....	48
6.5.3	Η τροποποιημένη ένωση.....	50
6.5.4	Η απλή ένωση προβολής.....	51
6.5.5	Η ένωση Step.....	52
6.5.6	Η αυλακωτή ένωση.....	53
6.5.7	Βασικές παραλλαγές ενώσεων κατάλληλες για την συγκόλληση με υπέρηχους.....	54
6.5.8	Η Παρεμβατική ένωση.....	55
6.6.	Άλλες εκτιμήσεις σχεδιασμού.....	57
6.7.	Η επίδραση του χρόνου και της πίεσης στη συγκόλληση με υπέρηχους.....	59
6.8.	Η ροή του ενεργειακού κατευθυντή υπό πίεση.....	61
6.9.	Η επίδραση του εύρους της δόνησης.....	63
6.10.	Η επίδραση της συχνότητας στο E' και το E''	65
6.11.	Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης.....	70
6.11.1	Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση.....	70
6.11.2	Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης.....	75
6.11.3	Η επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη.....	79
6.12.	Κατάρρευση και ενέργεια για τον έλεγχο των κλειστών βρόχων στην συγκόλληση με υπέρηχους.....	90
Κεφάλαιο 7: Τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης με υπέρηχους και η συμβατότητα της θερμοπλαστικής.....		91
Κεφάλαιο 8: Παρεμβολή και πασσάλωση με την χρήση των υπερήχων.....		94
8.1.	Η παρεμβολή του μετάλλου στο πλαστικό.....	94
8.2.	Η πασσάλωση.....	97

8.3. Η επίδραση της αύξησης και μείωσης εύρους στην πασσάλωση και την παρεμβολή μετάλλων	99
Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα.....	103
Βιβλιογραφία.....	106
Ιστοσελίδες.....	110

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1: Συγκόλληση τριβής.....	13
Σχήμα 2: Συγκόλληση τριβής.....	13
Σχήμα 3: Συγκόλληση θερμασμένων πλακών.....	15
Σχήμα 4: Συγκόλληση θερμού αερίου.....	17
Σχήμα 5: Συγκόλληση λείζερ.....	18
Σχήμα 6: Μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους.....	20
Σχήμα 7: Μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους.....	30
Σχήμα 8: Ενισχυτής συγκόλλησης.....	32
Σχήμα 9: Κέρας συγκόλλησης.....	34
Σχήμα 10: Κέρατα συγκόλλησης.....	34
Σχήμα 11: Διαδικασία συγκόλλησης με υπέρηχους.....	37
Σχήμα 12: Τριγωνικός και ορθογώνιος ενεργειακός κατευθυντής.....	38
Σχήμα 13: Η συγκόλληση με υπέρηχους των τομέων από μικρή απόσταση.....	39
Σχήμα 14: Η υπερηχητική συγκόλληση τομέων από απόσταση.....	39
Σχήμα 15: Σκίτσο ενός ελατήριου, που παρουσιάζει το νόμο Hook.....	40
Σχήμα 16: Σκίτσο του αμορτισέρ για να καταδείξει το νόμο του νευτώνειου ρευστού.....	41
Σχήμα 17: Η ένωση προβολής (projection joint).....	47
Σχήμα 18: Η παραλλαγή της ένωσης προβολής, υπό μορφή σχεδίου γλώσσας.....	48
Σχήμα 19: Η κοφτή ένωση (shear joint).....	49
Σχήμα 20: Η τροποποιημένη ένωση.....	50
Σχήμα 21: Η απλή ένωση προβολής.....	51
Σχήμα 22: Η ένωση Step.....	52
Σχήμα 23: Η αυλακωτή ένωση.....	53
Σχήμα 24: Βασικές παραλλαγές ενώσεων κατάλληλες για την υπερηχητική συγκόλληση.....	54
Σχήμα 25: Η Παρεμβατική ένωση.....	55
Σχήμα 26: Η συγκόλληση τομέων από απόσταση.....	57
Σχήμα 27: Η συγκόλληση τομέων από μικρή απόσταση.....	58
Σχήμα 28: Συμπίεση και ροή του τριγωνικού ενεργειακού κατευθυντή.....	61
Σχήμα 29: Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου και της εξασθένησης.....	68
Σχήμα 30: Πρότυπο (συσσωρευμένους-παραμέτρους) για ένα μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους.....	74
Σχήμα 31: Η παρεμβολή του μετάλλου στο πλαστικό.....	95
Σχήμα 32: Η σχέση των διαστάσεων μεταξύ ενός χαρακτηριστικού ενθέτου και η διάμετρος της προφορμαρισμένης τρύπας.....	96

Σχήμα 33: Η πασσάλωση	97
Σχήμα 34: Σχήματα κεφαλών κεράτων. Το τυποποιημένο και το χαμηλό-σχεδιαγράμματος κεφάλι .	98

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Στοιχεία Ε' για το PMMA Poly(methyl methacrylate) με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου	66
Πίνακας 2: Στοιχεία Ε'' για PMMA Poly(methyl methacrylate) με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου	67
Πίνακας 3: Ε' στοιχεία για ABS, PS, PE, και PP με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου.....	68
Πίνακας 4: Ε'' στοιχεία για ABS, PS, PE, και PP με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου	69
Πίνακας 5: Τα σχετικά χαρακτηριστικά δυνατότητας συγκόλλησης για τα πιο κοινά θερμοπλαστικά	92
Πίνακας 6: Η συμβατότητα των ανόμοιων υλικών στην υπερηχητική συγκόλληση	93
Πίνακας 7: Η κατάταξη των κεράτων συγκόλλησης.....	99
Πίνακας 8: Η αλλαγή του εύρος κεράτου με την χρήση ενισχυτών κεράτων	100

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (ABS)	70
Διάγραμμα 2: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PS)	71
Διάγραμμα 3: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PE)	72
Διάγραμμα 4: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PP)	73
Διάγραμμα 5: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (ABS)	76
Διάγραμμα 6: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PS)	77
Διάγραμμα 7: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PE)	78
Διάγραμμα 8: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PP)	79
Διάγραμμα 9: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (ABS).....	80

Διάγραμμα 10: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PS)	81
Διάγραμμα 11: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PE)	82
Διάγραμμα 12: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PP)	83
Διάγραμμα 13: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (ABS)	84
Διάγραμμα 14: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (ABS)	86
Διάγραμμα 15: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PS).....	87
Διάγραμμα 16: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PE)	88
Διάγραμμα 17: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PP).....	89
Διάγραμμα 18: Η επίδραση της χρήσης κέρατος συγκολλησης αυξημένου εύρους στην πίεση	101

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Ο όρος “πλαστικό” είναι κοινή ονομασία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ευρεία ποικιλία συνθετικών ή ημι-συνθετικών οργανικών στερεών υλικών. Τα πλαστικά είναι σχεδόν αποκλειστικά πολυμερή, μεγάλου μοριακού βάρους, γι’ αυτό και η ονομασία πολλών από αυτών φέρει το πρόθεμα (πολυ) και μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους (μηχανική αντοχή, εμφάνιση, χρώμα κλπ). Κύριο συστατικό παρασκευής τους είναι οι συνθετικές ρητίνες που διακρίνονται σε "εποξειδικές" και "ακρυλικές".

Τα πλαστικά που ανήκουν στην μεγάλη οικογένεια των πολυμερών είναι υλικά που κατέχουν καλή ακαμψία, μεγάλη σκληρότητα και υψηλή αντοχή στη φθορά και στη φωτιά. Αυτά, σε συνδυασμό με άλλα πολλά χαρακτηριστικά, όπως οι εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες, η αντίσταση στη διάβρωση και το μικρό βάρος τα καθιστούν ένα πολύ χρήσιμο υλικό σε πολλές βιομηχανίες και κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην αεροδιαστημική, στα ηλεκτρονικά ιατρικά και σε άλλες εγχώριες βιομηχανικές συσκευές. Σε πολλές βιομηχανίες έχει αυξηθεί η χρήση των πλαστικών, ως εκ τούτου η συναρμογή των υλικών αυτών, καθίσταται μια σημαντική διαδικασία κατασκευής.

Οι τεχνικές που διατίθενται για την συγκόλληση πλαστικών είναι:

- 1) Η χρήση των μηχανικών ενώσεων (βίδες, πριτσίνια, καρφίτσες, και διατρητικοί κρίκοι)
- 2) Η χρήση της κόλλας
- 3) Η χρήση της συγκόλλησης.

Το πλεονέκτημα των μηχανικών ενώσεων είναι ότι οι ενώσεις αυτές δεν είναι μόνιμες. Όμως, η προσθήκη ενός ξένου υλικού μέσω μιας τρύπας προκαλεί την συγκέντρωση πιέσεων. Οι Μηχανικές συνδέσεις αυξάνουν επίσης το συνολικό βάρος της δομής. Η Κολλητική συγκόλληση είναι μια διαδικασία όπου κόλλα, πχ. εποξειδική, τοποθετείται μεταξύ των μερών αφήνοντας την να στεγνώνει τα ενώνει μαζί. Αυτή η διαδικασία παράγει μια ένωση που έχει καλή αντοχή. Αν η ένωση δεν έχει σχεδιαστεί σωστά θα προκαλέσει

συγκέντρωση πιέσεων. Η συγκόλληση των πλαστικών προσφέρει σαφή πλεονεκτήματα από την άποψη της εξοικονόμησης βάρους. Με μια καλή σχεδίαση των ενώσεων και με το σωστό έλεγχο της διαδικασίας μπορούμε να έχουμε μια ένωση εξαιρετικής δύναμης.

Υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους πλαστικών, ωστόσο μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες. Τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκληραινόμενα. Τα θερμοπλαστικά είναι πολυμερή που αποκτούν μεγαλύτερη πλαστικότητα, δηλαδή ευκολία στο να παραμορφωθούν και να αποκτήσουν το σχήμα που επιθυμούμε, κάθε φορά που θερμαίνονται. Ένα θερμοπλαστικό, είναι ένα πλαστικό που μπορεί να παραμορφωθεί κάτω από τις ανυψωμένες θερμοκρασίες λόγω της θραύσης των δυνάμεων Van Der Waals μεταξύ των μορίων [25]. Τα θερμοπλαστικά υιοθετούν τη μορφή της φόρμας όταν υποβάλλονται στην υψηλή θερμοκρασία και την πίεση και γίνονται άκαμπτα κατά την ψύξη. Στα θερμοσκληραινόμενα κατά την πρώτη θέρμανση και ανάμιξη των συστατικών τους προκαλείται πολυμερισμός και σκλήρυνση κατά τρόπο μη αντιστρεπτό, δηλαδή τα θερμοσκληραινόμενα μετά την πήξη τους δεν δύνανται να μορφοποιηθούν περαιτέρω. Ένα θερμοσκληραινόμενο πλαστικό αφετέρου, χαρακτηρίζεται από ένα τρισδιάστατο δίκτυο που δημιουργείται με τη ένωση των αλυσίδων των μορίων από κοινού. Αυτό περιορίζει τις ολισθήσεις μεταξύ των μορίων. Από αυτό μπορεί να προκύψει ότι μόνο τα θερμοπλαστικά μπορούν να συγκολληθούν.

Τα θερμοπλαστικά μπορούν πάλι να διαιρεθούν σε άμορφους και ήμι-κρυστάλλινους τύπους, οι άμορφοι θερμοπλαστικοί χαρακτηρίζονται από μια διαταραγμένη δομή ενώ η δομή των ημι-κρυστάλλινων θερμοπλαστικών έχουν διατεταγμένη δομή όπως κάποιου κρυστάλλου. Έχει παρατηρηθεί στην περίπτωση της άμορφης θερμοπλαστικής ότι υπάρχει γενικά μια θερμοκρασία υαλώδης μετάπτωσης (T_g) στην οποία το ιξώδες του υλικού μειώνεται ξαφνικά και αυτό μαλακώνει. Η θερμοκρασία υαλώδης μετάπτωσης (T_g) είναι το σημείο όπου ο συντελεστής α της θερμικής επέκτασης, διαπερνά μια ασυνέχεια [13]. Κάτω από την υαλώδη μετάπτωση (T_g) υπάρχει μια απώλεια μοριακής κινητικότητας που δημιουργεί μια καθορισμένη αλλαγή στη ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά του πολυήμερου σώματος. Ένα ημι-κρυσταλλικό θερμοπλαστικό έχει επίσης μια θερμοκρασία υαλώδης μετάπτωσης αλλά το ιξώδες είναι ακόμα αρκετά υψηλό σε αυτήν την θερμοκρασία. Αυτός ο τύπος πλαστικού βιώνει μια μεγαλύτερη πτώση στο ιξώδες του αφότου η θερμοκρασία ξεπεράσει το σημείο τήξης του (T_m) [14]. Αυτές οι διαφορές σαφώς δείχνουν ότι οι παράμετροι συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται για να ενώσουν άμορφα και ήμι-κρυστάλλινα θερμοπλαστικά θα είναι αρκετά διαφορετικές. Δεδομένου ότι η (T_m) είναι

μεγαλύτερη από την (T_g) θα έπαιρνε μεγαλύτερο χρόνο να επιτευχθεί η (T_m) από ότι η (T_g). Αυτό συνεπάγεται ότι μεγαλύτερη ενέργεια απαιτείται από έναν ημι-κρυσταλλικό θερμοπλαστικό για τη χαλάρωση και τη ρευστοποίηση του.

Σε αυτήν την μελέτη θα χρησιμοποιούμε και θα μελετήσουμε

- 1) τα ABS (Στυρένιο βουταδιενίου ακρυλονιτρίλιου) και PS (πολυστυρένιο) για τα άμορφα θερμοπλαστικά
- 2) και το PE (πολυαιθυλένιο) και πολυπροπυλένιο (PP) για τα ημι-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά.

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες για τη θερμοπλαστική συγκόλληση όπως: το θερμο-αέριο, η τεχνική της θερμασμένες πλάκες, το μόσχευμα αντίστασης, και το μόσχευμα επαγωγής απαιτούν μια εξωτερική πηγή θερμοκρασίας. Η συγκόλληση με υπέρηχους, η συγκόλληση τριβής, και η συγκόλληση δόνησης στηρίζονται στη θερμότητα που παράγεται από τη μηχανική μετακίνηση ανάμεσα ή μεταξύ των μερών [26].

Κεφάλαιο 2: Διαδικασίες πλαστικής συγκόλλησης

Οι διαδικασίες πλαστικές συγκόλλησης [1] μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ομάδες:

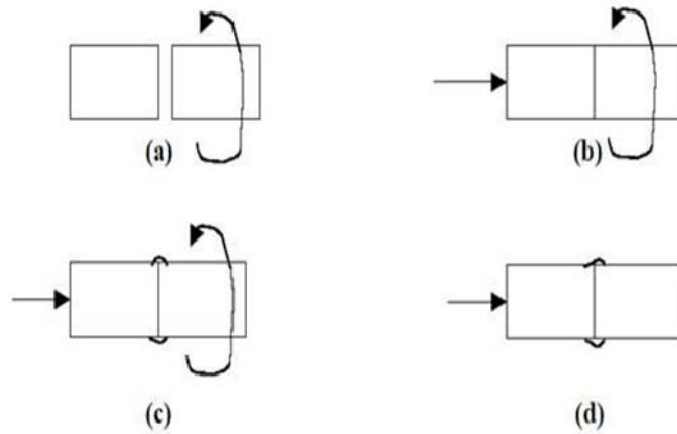
- 1) Τεχνικές μηχανικής μετακίνησης: συγκόλληση με υπέρηχους, συγκόλληση τριβής, συγκόλληση δόνησης...
- 2) Διαδικασίες που περιλαμβάνουν την εξωτερική θέρμανση: συγκόλληση θερμασμένων πλακών, συγκόλληση καυτού αερίου και συγκόλληση μοσχευμάτων ...

2.1. Διαδικασίες

2.1.1 Συγκόλληση τριβής

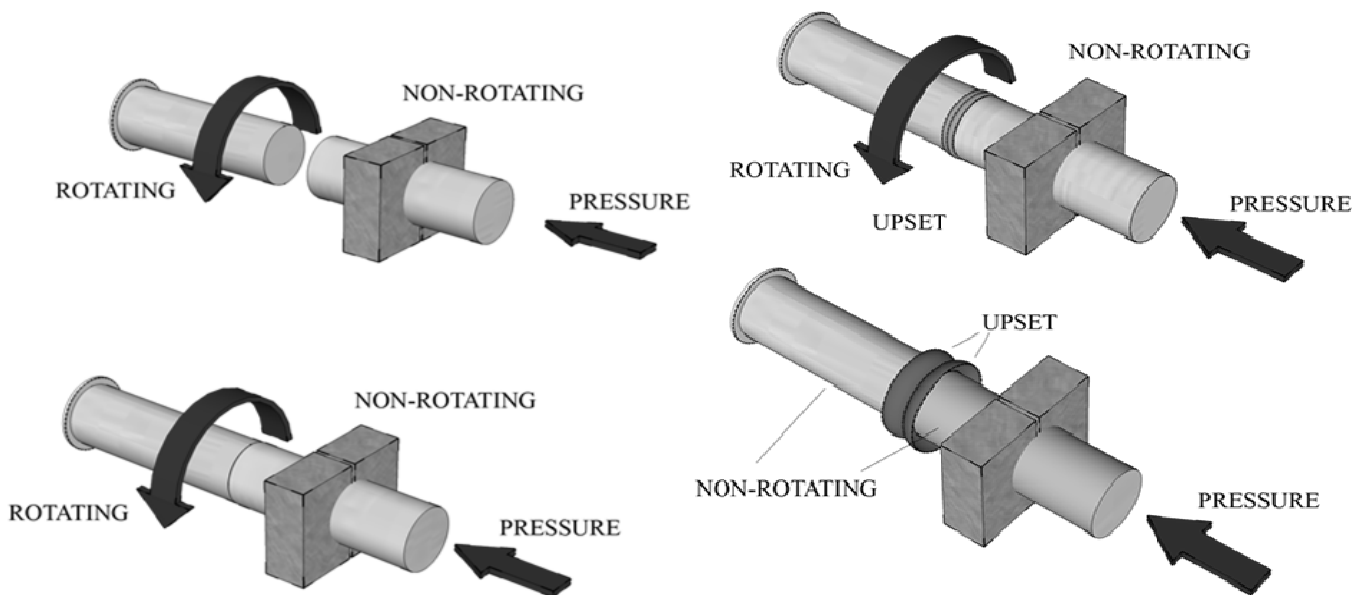
Η συγκόλληση τριβής θερμοπλαστικού (επίσης αποκαλούμενη συγκόλληση περιστροφής) (σχήμα 1 και 2) είναι βασισμένη στην ίδια αρχή με αυτήν που υιοθετείται για την συγκόλληση μετάλλων. Σε αυτήν την διαδικασία το ένα μέρος σταθεροποιείται ενώ άλλο περιστρέφεται με μια ελεγχόμενη γωνιακή ταχύτητα. Όταν τα μέρη πιέζονται μαζί, η θερμότητα της τριβής αναγκάζει το πολυμερές σώμα να λιώσει και η συγκόλληση δημιουργείται κατά την ψύξη. Οι πιο σημαντικές παράμετροι της συγκόλλησης αυτής περιλαμβάνουν την περιστροφική ταχύτητα, πίεση τριβής, πίεση σφυρηλάτησης (forge pressure), τον χρόνο συγκόλλησης, και το μήκος του πλαστικού σώματος που πρόκειται να συγκολληθεί.

Τα πλεονεκτήματα της συγκόλλησης μέσω τριβής είναι η υψηλή ποιότητα συγκόλλησης, η απλότητα και η δυνατότητα αναπαραγωγής της διαδικασίας. Το μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας, είναι ότι στην απλούστερη μορφή, είναι εφαρμόσιμη όταν τουλάχιστον ένα από τα συστατικά είναι κυκλικό και δεν απαιτεί καμία γωνιακή ευθυγράμμιση.



Σχήμα 1: Συγκόλληση τριβής

- a) Περιστρεφόμενο μέλος που επιταχύνεται ως μια συγκεκριμένη ταχύτητα
- b) Το περιστρεφόμενο μέλος έρχεται σε επαφή με το άλλο μέλος δημιουργώντας αξονικό φορτίο.
- c) Η περιστροφική πίεση διατηρείται για μια καθορισμένη περίοδο
- d) Η περιστροφή σταματάει και η πίεση διατηρείται ή αυξάνεται για μία καθορισμένη περίοδο ώστε να παράγει την συγκόλληση.



Σχήμα 2: Συγκόλληση τριβής

2.1.2 Συγκόλληση δόνησης

Αυτή η διαδικασία καλείται επίσης γραμμική συγκόλληση τριβής. Δύο θερμοπλαστικά μέρη τρίβονται μαζί υπό πίεση και σε μια κατάλληλη συχνότητα και ένταση, έως ότου παράγεται αρκετή θερμότητα για να λιώσει το πολυμερές σώμα. Αφότου σταματήσει η δόνηση, τα μέρη ευθυγραμμίζονται και το λιωμένο πολυμερές σώμα επιτρέπεται να σταθεροποιηθεί ώστε να γίνει η συγκόλληση. Η διαδικασία είναι παρόμοια με τη συγκόλληση περιστροφής, εκτός από το ότι η κίνηση είναι γραμμική παρά περιστροφική. Η διαδικασία είναι γρήγορη, οι δονήσεις που εφαρμόζονται κυμαίνονται στα 100-240 Hz, 1-5 mm εύρους.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η δυνατότητά της να συγκολλήσει τις μεγάλες σύνθετες γραμμικές ενώσεις σε υψηλό ρυθμό παραγωγής. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα να συγκολληθούν διάφορα συστατικά ταυτόχρονα, η απλότητα της σχεδίασης και η καταλληλότητα για σχεδόν όλα τα θερμοπλαστικά υλικά. Η συγκόλληση δόνησης εφαρμόζεται κυρίως στη αυτοκινητοβιομηχανία και στη βιομηχανία εσωτερικών συσκευών.

Η συγκόλληση δόνησης μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλα τα θερμοπλαστικά υλικά.

2.1.3 Συγκόλληση θερμασμένων πλακών

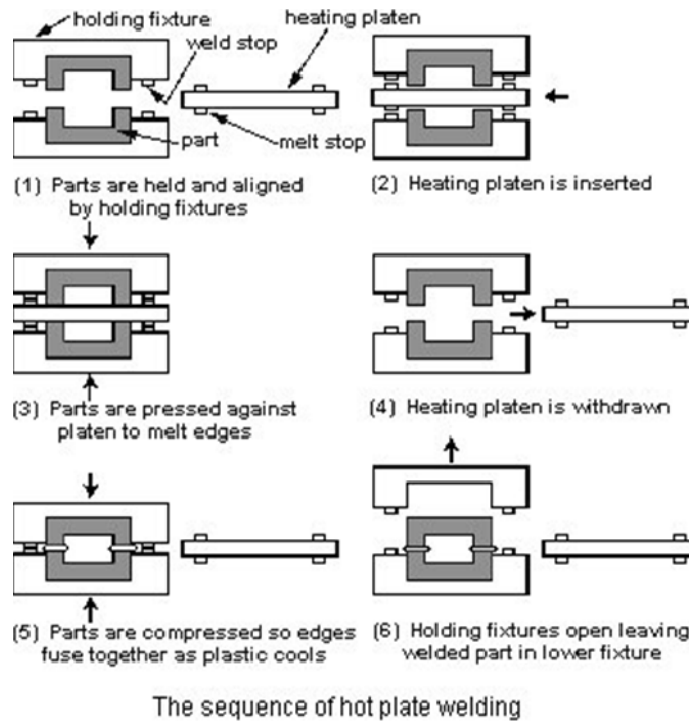
Είναι η απλούστερη τεχνική συγκόλλησης για μαζική παραγωγή. Μία θερμασμένη πλάκα στερεώνεται μεταξύ των επιφανειών προς συγκόλληση έως όπου αυτά μαλακώσουν (σχήμα 3). Έπειτα αποσύρεται η ράβδος και οι επιφάνειες εφάπτονται υπό ελεγχόμενη πίεση για μια συγκεκριμένη περίοδο. Οι λιωμένες επιφάνειες αφήνονται ύστερα για να δροσίσουν και να κρυώσουν, διαμορφώνοντας μια ένωση. Το εργαλείο συγκόλλησης ή το στοιχείο θέρμανσης έχει ενσωματωμένες ηλεκτρικές θερμάστρες για να αποτρέψει τα πλαστικά να κολλήσουν σε αυτό.

Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται γενικά μεταξύ 180° και 230° ανάλογα με το πάχος και τον τύπο του υλικού που συγκολλείται. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται συνήθως για

να συγκολλήσει μαζί τις άκρες των πλαστικών σωλήνων που χρησιμοποιούνται στη διανομή αερίου και ύδατος, την αποχέτευση των λυμάτων και των αποβλήτων και στις χημικές βιομηχανίες, τη σύνδεση των σωλήνων και των συνδετήρων επάνω στις δεξαμενές καυσίμων των αυτοκινήτων.

Πολλές συσκευές της καθημερινής χρήσης παράγονται μέσω αυτής της διαδικασίας όπως οι ηλεκτρικές σκούπες, κάποια από τα συστατικά για τα πλυντήρια ρούχων ή τα πλυντήρια πιάτων, μέρη αυτοκινήτων όπως οι δεξαμενές υγρού φρένων, τα οπίσθια φώτα, τα φλάς κλπ.

Το μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι είναι σχετικά αργή. Η συγκόλληση μπορεί να διαρκέσει από 10 έως 20 δευτερόλεπτα για τα μικρά στοιχεία, έως και 30 λεπτά για τους πολύ μεγάλους σωλήνες. Καυτές πλάκες για το συμβατικό τύπο συγκόλλησης (που χρησιμοποιεί τις θερμοκρασίες μέχρι 300°) φτιάχνονται κυρίως από το αργίλιο. Οι ράβδοι για τη συγκόλληση υψηλής θερμοκρασίας αποτελούνται κυρίως από το κράμα χαλκού αργιλίου. Η θερμοκρασία των πλακών ελέγχεται από ηλεκτρονικούς ρυθμιστές, με αισθητήρα θερμοκρασίας τοποθετημένο όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιφάνεια εργασίας.



Σχήμα 3: Συγκόλληση θερμασμένων πλακών

2.1.4 Συγκόλληση θερμού αερίου

Αυτός ο τύπος συγκόλλησης είναι παρόμοιος με την οξυακετυλινική συγκόλληση των μετάλλων. Η μόνη διαφορά είναι ότι η ανοικτή φλόγα της οξυακετυλινικής συγκόλλησης αντικαθίσταται από ένα ρεύμα θερμού αερίου. Ο συμπιεσμένος αέρας, άζωτο, υδρογόνο, οξυγόνο ή διοξείδιο του άνθρακα θερμαίνεται από μια ηλεκτρική σπείρα καθώς περνά μέσω ενός μπεκ-συγκόλλησης.

Η συγκόλληση καυτού αερίου είναι μια διαδικασία επεξεργασίας για τα θερμοπλαστικά υλικά. Η διαδικασία εφευρέθηκε στο μέσο του 20ου αιώνα, χρησιμοποιεί ένα ρεύμα θερμού αερίου, συνήθως αέρας, για να θερμάνει και να λιώσει τα υποστρώματα του θερμοπλαστικού υλικού και τη θερμοπλαστική ράβδο συγκόλλησης. Το υπόστρωμα και η ράβδος λιώνουν για να παραγάγουν μια συγκόλληση. Για να γίνει σωστή συγκόλληση πρέπει να εξασφαλιστεί η εφαρμογή στη ράβδο της σωστής θερμοκρασίας και πίεσης, μαζί με τη χρήση της σωστής θέσης, ταχύτητας και μπεκ συγκόλλησης.

Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τα χημικά δοχεία αποθήκευσης, η διοχέτευση εξαερισμού και η επισκευή των πλαστικών σχηματοποιήσεων όπως οι προφυλακτήρες αυτοκινήτων. Το άζωτο χρησιμοποιείται για τα πλαστικά που είναι ευαίσθητα στο οξυγόνο όπως το πολυαιθυλένιο, ενώ το οξυγόνο οδηγεί στις υψηλότερες δυνάμεις συγκόλλησης. Ο συμπιεσμένος αέρας είναι πολύ δημοφιλής και γνωστός επειδή δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και είναι σχετικά φτηνός.

Τα πλαστικά, που μπορούν να συγκολληθούν, είναι PVC, πολυαιθυλένιο, πολύ-άνθρακες και νάιλον. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν μεγάλες και σύνθετες κατασκευές. Αυτή η διαδικασία είναι αργή και η ποιότητα συγκόλλησης εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την ικανότητα του εργάτη.



Hot Gas Welding

Σχήμα 4: Συγκόλληση θερμού αερίου

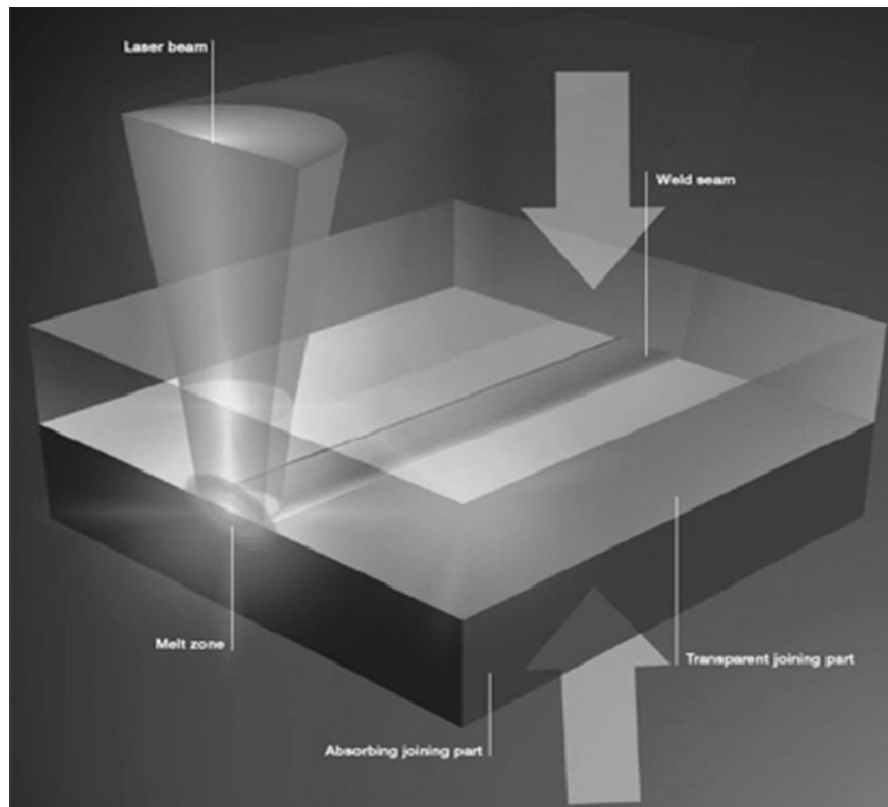
2.1.5 Συγκόλληση μοσχευμάτων

Σε αυτήν την διαδικασία, κομμάτια μετάλλων τοποθετούνται μεταξύ των μερών που ενώνονται και θερμαίνονται με τη βοήθεια της θερμικής επαγωγής ή αντίστασης. Η μέθοδος της αντίστασης απαιτεί ότι τα καλώδια τοποθετούνται κατά μήκος της ένωσης για να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα στα μοσχεύματα όπου αυτό δεν απαιτείται για τη συγκόλληση επαγωγής. Το θερμοπλαστικό υλικό λιώνει γύρω από τα μοσχεύματα και ρέει για να διαμορφώσει μια ένωση. Η συγκόλληση μοσχευμάτων έχει εφαρμοστεί στις περίπλοκες ενώσεις, στα μεγάλα συστατικά όπως οι προφυλακτήρες οχημάτων, ηλεκτρικά καθοδηγούμενα οχήματα και στα ιστιοπλοϊκά σκάφη

2.1.6 Συγκόλληση λέιζερ

Η συγκόλληση λέιζερ (σχήμα 5) είναι κατάλληλη για την συγκόλληση πλαστικών ταινιών και για τον φορμάρισμα των θερμοπλαστικών. Χρησιμοποιεί μια ακτίνα λέιζερ για να λιώσει το πλαστικό στην περιοχή επαφής, το λέιζερ παράγει μια έντονη ακτινοβολία (συνήθως στον υπέρυθρο τομέα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος) που στρέφεται επάνω στο υλικό που ενώνεται. Αυτό διεγείρει μια συχνότητα αντήχησης στο μόριο, με συνέπεια τη

θέρμανση του περιβάλλοντος υλικού. Η συγκόλληση λέιζερ είναι μια διαδικασία μαζικής παραγωγής με τα πλεονεκτήματα ότι δεν παράγει καμία δόνηση και με ελάχιστη λάμψη συγκόλλησης. Τα οφέλη ενός συστήματος λέιζερ περιλαμβάνουν:- μια ελέγξιμη δύναμη ακτινών, που μειώνει τον κίνδυνο της διαστρέβλωσης ή της ζημιάς στα συστατικά -ακριβής εστίαση της ακτίνας λέιζερ που επιτρέπει την διαμόρφωση ενώσεων ακριβείας - μια διαδικασία μη επαφής των εξωτερικών μερών που είναι καθαρά και υγιεινά. Η συγκόλληση λέιζερ μπορεί να εκτελεσθεί κατά μιας ριπή ή συνεχή δέσμη, αλλά τα υλικά που ενώνονται απαιτούν διαμόρφωση. Οι ταχύτητες συγκόλλησης εξαρτώνται από την πολυμερή απορρόφηση. Από τα μειονεκτήματα της συγκόλλησης λέιζερ είναι πως ο εξοπλισμός της και τα μηχανήματα που απαιτεί είναι πολύ ακριβά.



Σχήμα 5: Συγκόλληση λέιζερ

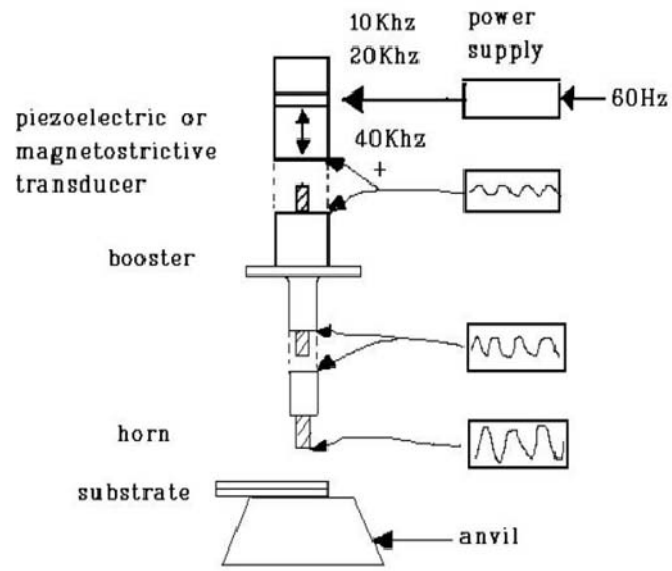
2.1.7 Συγκόλληση με υπέρηχους

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τις μηχανικές δονήσεις για να διαμορφώσει την ένωση. Οι δονήσεις είναι υψηλής συχνότητας. Τα μέρη έρχονται σε επαφή υπό πίεση μεταξύ του ταλαντωμένου κέρας και μιας ακίνητης βάσης, και υποβάλλονται στις υπερηχητικές δονήσεις της συχνότητας 20 έως 40 KHz κάθετα στην περιοχή επαφής.

Η εναλλασσόμενη υψηλή συχνότητα παράγει τη θερμότητα στο σημείο επαφής για να παραγάγει μια συγκόλληση καλής ποιότητας. Τα εργαλεία για αυτήν την διαδικασία είναι αρκετά ακριβά γι' αυτό προτιμάται σε μεγάλες ποσότητες παραγωγής.

Η συγκόλληση περιορίζεται στα μικρά συστατικά με τα μήκη συγκόλλησης που δεν υπερβαίνουν λίγα εκατοστά. Οι εφαρμογές κυμαίνονται από τις βαλβίδες και τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται στον ιατρικό εξοπλισμό, στις κασέτες, στα εξαρτήματα των αυτοκινήτων και τα σώματα των ηλεκτρικών σκουπών που ενώνονται στις πολύ-επικεφαλής μηχανές.

Σ' αυτή την μελέτη θα αναφερόμαστε στην συγκόλληση με υπέρηχους και θα εξηγήσουμε αυτή την τεχνική συγκόλλησης σε όλα τα επίπεδα της, ξεκινώντας από την ιστορία της, πως ξεκίνησε και τις εφαρμογές της. Θα δούμε επίσης τι είναι μια μηχανή συγκόλλησης με υπέρηχους, από τι είναι φτιαγμένη, και την διαδικασία της συγκόλλησης με υπέρηχους. Θα μιλήσουμε μετά αναλυτικά για την θεωρία της, τι γίνεται δηλαδή στο μοριακό επίπεδο πώς μεταδίδονται οι δονήσεις και μετατρέπονται σε θερμότητα και θα δούμε στο ενεργειακό επίπεδο πως και που χάνεται η ενέργεια. Θα δούμε επίσης τι ρόλο παίζουν οι συχνότητες, το χρόνο συγκόλλησης, τη πίεση που ασκούμε στα σώματα που πρόκειται να συγκολλήσουμε, και πολλά άλλα κριτήρια που παίζουν μεγάλο ρόλο στον να επιτύχουμε σωστή, δυνατή, και καλή υπερηχητική συγκόλληση.



Ultrasonic Welding Device

Σχήμα 6: Μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους

2.2. Πώς συγκρίνεται η συγκόλληση με υπέρηχους με άλλους μεθόδους πλαστικής συγκόλλησης

Η συγκόλληση με υπέρηχους είναι γενικά μια καθαρή, γρήγορη και αξιόπιστη μέθοδος για την ένωση και συγκόλληση των πλαστικών αλλά σε μερικές περιπτώσεις η συγκόλληση με υπέρηχους δε μπορεί να γίνει, γι' αυτό άλλες μέθοδοι ένωσης και συγκόλλησης πρέπει να εξεταστούν, ιδιαίτερα εάν οι περιορισμοί της πλαστικής συγκόλλησης με υπέρηχους την καθιστούν ακατάλληλη για μια ιδιαίτερη εφαρμογή. Παρακάτω μερικές άλλες (μη-υπερηχητικές) τεχνικές παρατίθενται μαζί με τα πιθανά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους έναντι της συγκόλλησης με υπέρηχους.

2.2.1 Μηχανικοί σύνδεσμοι

Πλεονεκτήματα: μπορούν να εφαρμοστούν και να γίνει η χρήση τους σε οποιοδήποτε υλικό, έχουν χαμηλό κύριο κόστος και είναι πολύ καλή επιλογή για τα πρωτότυπα.

Μειονεκτήματα: πολλά μικρά συστατικά για συναρμολόγηση στο κύριο σώμα που είναι να συγκολλήσουμε - πρόσθετο κόστος, εντατική εργασία, η εμφάνιση του τελικού προϊόντος μπορεί να είναι κακή, μπορεί να χαλαρώσουν οι σύνδεσμοι κατά τη χρήση, και η δυνατότητα του καταναλωτή χωρίς την θέληση του να αποσυνθέσει τους συνδέσμους.

2.2.2 Συγκόλληση με χρήση Κόλλας

Πλεονεκτήματα: οι κόλλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μη συμβατά υλικά προς συγκόλληση, έχουν χαμηλό κύριο κόστος – καλή επιλογή για την συγκόλληση των πρωτοτύπων.

Μειονεκτήματα: μας παίρνει πολύ ώρα για να γίνει η ένωση των κομματιών μεταξύ τους - πρέπει να στερεωθούν τα σώματα προς ένωσης ή να διατηρηθούν τη συνεχή επαφή

μέχρι να στεγνώσει η κόλλα και να ενωθούν μεταξύ τους, πιθανά ζητήματα ασφάλειας, και πιθανά προβλήματα στη ανακύκλωση των μεικτών υλικών.

2.2.3 Συγκόλληση περιστροφής

Πλεονεκτήματα: ικανότητα συγκόλλησης μεγαλύτερων συστατικών και σωμάτων από την συγκόλληση με υπέρηχους.

Μειονεκτήματα: σχετικά περίπλοκος εξοπλισμός, κατάλληλος μόνο για τις αξονομετρικές συγκολλήσεις, περιορίζεται για τα ίδια χημικώς συμβατά υλικά.

2.2.4 Συγκόλληση δόνησης

Πλεονεκτήματα: ικανότητα συγκόλλησης μεγαλύτερων συστατικών και σωμάτων από την υπερηχητική συγκόλληση

Μειονεκτήματα: σχετικά περίπλοκος εξοπλισμός, περιορίζεται για τα ίδια χημικό-συμβατά υλικά.

2.2.5 Συγκόλληση θερμοσμένων πλακών

Πλεονεκτήματα: ικανότητα συγκόλλησης μεγαλύτερων συστατικών και σωμάτων από την υπερηχητική συγκόλληση, καλός για τα λεπτά σώματα όπως πλαστικές ταινίες.

Μειονεκτήματα: τουλάχιστον ένα συστατικό πρέπει να είναι λεπτό για να επιτρέψει τη μεταφορά θερμότητας, περιορίζεται για τα ίδια χημικό-συμβατά υλικά.

Κεφάλαιο 3: Συγκόλληση με υπέρηχους

3.1. Ιστορία

Στην δεκαετία του 1960 η Sonobond Ultrasonics, αρχικά γνωστή ως Aero Projects, ανέπτυξε την πρώτη μηχανή συγκόλλησης με υπέρηχους μετάλλων που γι' αυτό βραβεύτηκε με το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πρακτική εφαρμογή της υπερηχητικής συγκόλλησης για τα άκαμπτα πλαστικά ολοκληρώθηκε στη δεκαετία του '60. Σε αυτό το σημείο μόνο τα σκληρά πλαστικά ήταν δυνατόν να συγκολληθούν. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την υπερηχητική συγκόλληση των άκαμπτων θερμοπλαστικών απονεμήθηκε στον Robert Soloff και στον Seymour Linsley το 1965. Ο Soloff, ιδρυτής της Sonics και Materials Inc., ήταν διευθυντής εργαστηρίων στο Branson Instruments όπου λεπτές πλαστικές ταινίες συγκολλούνταν για να γίνουν σακούλες ή σωλήνες, χρησιμοποιώντας τους υπερηχητικούς ελέγχους. Άθελα του, έβαλε τον καθετήρα κοντά σε έναν πλαστικό διανομέα ταινιών και συγκολλήθηκαν οι πλαστικές ταινίες μεταξύ τους. Συνειδητοποίησε ότι δεν ήταν απαραίτητο να κινηθεί ο καθετήρας με το χέρι γύρω από τα μέρη αλλά ότι η υπερηχητική ενέργεια θα μπορούσε να ταξιδέψει μέσω και γύρω των άκαμπτων πλαστικών και να τα συγκολλήσει. Στην συνέχεια ανέπτυξε την πρώτη υπερηχητική πρέσα. Η πρώτη εφαρμογή αυτής της νέας τεχνολογίας ήταν στη βιομηχανία παιχνιδιών.

Το πρώτο αυτοκίνητο φτιαγμένο εξ ολοκλήρου από πλαστικό συναρμολογήθηκε χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους το 1969, Ακόμα κι αν τα πλαστικά αυτοκίνητα δεν είχαν μια μεγάλη επιτυχία η συγκόλληση με υπέρηχους αντιθέτως είχε. Η αυτοκινητοβιομηχανία την έχει χρησιμοποιήσει τακτικά από τη δεκαετία του '80. Η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται σήμερα για ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

3.2. Εφαρμογές

Οι εφαρμογές της συγκόλλησης με υπέρηχους είναι πολλές και βρίσκονται σε πολλές βιομηχανίες συμπεριλαμβανομένου των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των αυτοκινήτων και

αεροδιαστημικών, των ιατρικών και των συσκευαστικών και πολλών άλλων ακόμα. Εάν δύο στοιχεία μπορούν να συγκολληθούν με χρήση τούς υπέρηχους αυτό καθορίζεται από το πάχος τους. Εάν είναι πάρα πολύ παχιά αυτή η διαδικασία δεν θα τα ενώσει. Αυτό είναι το κύριο εμπόδιο στη συγκόλληση των μετάλλων. Εντούτοις, τα καλώδια, οι συνδέσεις μικροκυκλωμάτων, τα φύλλα μετάλλων, τα φύλλα αλουμινίου, οι ταινίες και τα πλέγματα συγκολλούνται συχνά χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους. Η συγκόλληση με υπέρηχους είναι μια πολύ δημοφιλής τεχνική για την συγκόλληση των θερμοπλαστικών. Αυτοματοποιείται γρήγορα και εύκολα με χρόνους συγκόλλησης συχνά κάτω από το ένα δευτερόλεπτο και δεν απαιτείται κανένα σύστημα εξαερισμού που να αφαιρέσει τη θερμότητα ή τα καυσαέρια. Αυτός ο τύπος συγκόλλησης χρησιμοποιείται συχνά για να συναρμολογήσει μέρη που είναι πάρα πολύ μικρά, πάρα πολύ σύνθετα, ή πάρα πολύ λεπτά για τις κοινές τεχνικές συγκόλλησης.

Από τις πολλές εφαρμογές της συγκόλλησης με υπέρηχους διαλέξαμε τις παρακάτω:

3.2.1 Βιομηχανίες υπολογιστών & ηλεκτρικών

Στην βιομηχανία ηλεκτρικών και υπολογιστών η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται συχνά για συγκόλληση ενσύρματων συνδέσεων και για τη δημιουργία συνδέσεων στα μικρά, λεπτά κυκλώματα. Οι συνδέσεις των λουριών καλωδίων συχνά συνδέονται χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους. Τα λουριά καλωδίων είναι μεγάλοι σχηματισμοί καλωδίων που χρησιμοποιούνται για να διανείμουν τα ηλεκτρικά σήματα και το ρεύμα. Ηλεκτρικές μηχανές, σπείρες τομέων, μετασχηματιστές και οι πυκνωτές μπορούν επίσης να συναρμολογηθούν με την χρήση της συγκόλλησης με υπέρηχους. Επίσης συχνά προτιμάται στη παραγωγή των μέσων αποθήκευσης όπως οι μνήμες USB και οι σκληροί δίσκοι λόγω της μαζικής παραγωγής που απαιτείται. Η συγκόλληση με υπέρηχους των σκληρών δίσκων βρέθηκε να έχει χρόνο επεξεργασίας λιγότερο από 300 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Μια από τις περιοχές στις οποίες η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται και πραγματοποιούνται νέες έρευνες και πειράματα είναι των μικροκυκλωμάτων. Αυτή η διαδικασία είναι ιδανική για τα μικροκυκλώματα δεδομένου ότι δημιουργεί αξιόπιστους

δεσμούς χωρίς να εισάγει ακαθαρσίες ή θερμική διαστρέβλωση στα συστατικά. Συσκευές ημιαγωγών, τρανζίστορ και οι διόδοι συνδέονται συχνά με λεπτό φύλλο αργιλίου και χρυσά καλώδια χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους. Χρησιμοποιείται επίσης για τη συγκόλληση των καλωδίων και των ταινιών καθώς επίσης και ολόκληρα τσιπ στα μικροκυκλώματα. Ένα παράδειγμα όπου τα μικροκυκλώματα χρησιμοποιούνται είναι στους ιατρικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την ανθρώπινη καρδιά στους by pass ασθενείς.

Μια διαφορά μεταξύ της συγκόλλησης με υπέρηχους και της παραδοσιακής συγκόλλησης είναι η δυνατότητα της να συγκολλήσει ανόμοια υλικά. Η σύνθεση των τμημάτων μπαταριών είναι ένα καλό παράδειγμα. Κατά τη δημιουργία της μπαταρίας και τα τμήματα των κυττάρων καυσίμων, οι λεπτές συνδέσεις χαλκού, νικελίου και αργιλίου, τα στρώματα φύλλων αλουμινίου και τα πλέγματα μετάλλων συχνά συγκολλούνται υπερηχητικά. Πολλαπλάσια στρώματα του φύλλου αλουμινίου ή του πλέγματος μπορούν συχνά να εφαρμοστούν σε μια ενιαία συγκόλληση που μειώνει τα βήματα και το κόστος.

3.2.2 Αεροδιαστημικές & αυτοκινητοβιομηχανίες

Για την αυτοκινητοβιομηχανία, η συγκόλληση με υπέρηχους τείνει να χρησιμοποιηθεί στη σύνθεση των μεγάλων πλαστικών συστατικών και των ηλεκτρικών συστατικών όπως τα πάνελ των οργάνων, τα πάνελ των πορτών, οι λαμπτήρες, οι αεραγωγοί, τα τιμόνια, και τα τμήματα ταπετσαριών και μηχανών. Δεδομένου ότι τα πλαστικά αντικαθιστούν όλο και περισσότερα υλικά στο σχεδιασμό και την κατασκευή των αυτοκινήτων, η σύνθεση και η ένωση των πλαστικών συστατικών έχουν γίνει όλο και περισσότερο ένα κρίσιμο ζήτημα. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της συγκόλλησης με υπέρηχους είναι ο μικρός χρόνος επεξεργασίας, η αυτοματοποίηση, το χαμηλό κόστος, και η ευελιξία. Επίσης, η υπερηχητική συγκόλληση δεν βλάπτει την επιφάνεια, η οποία είναι μια κρίσιμη εκτίμηση για πολλούς κατασκευαστές αυτοκινήτων, επειδή η υψηλής συχνότητας δονήσεις αποτρέπουν τα σημάδια να εμφανιστούν σ' αυτές τις επιφάνειες.

Η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται γενικά στην αεροδιαστημική βιομηχανία για την ένωση των λεπτών μεταλλικών φύλλων, των μετρητών και άλλων ελαφριών υλικών. Το αργίλιο είναι ένα δύσκολο μέταλλο για να συγκολληθεί χρησιμοποιώντας τις παραδοσιακές τεχνικές λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητάς του. Εντούτοις, είναι ένα από τα ευκολότερα υλικά για να συγκολληθεί με την συγκόλληση με υπέρηχους επειδή είναι ένα μαλακότερο κράμα μετάλλου και έτσι μια συμπαγής συγκόλληση είναι απλή να επιτευχθεί. Δεδομένου ότι το αργίλιο είναι χρησιμοποιείται ευρέως στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η συγκόλληση με υπέρηχους είναι μια σημαντική διαδικασία κατασκευής. Επίσης, με την εμφάνιση νέων συνθετικών υλικών, επικρατεί η συγκόλληση με υπέρηχους. Επιπλέον, η συγκόλληση με υπέρηχους έχει χρησιμοποιηθεί στη σύνδεση και συγκόλληση του δημοφιλούς σύνθετου υλικού των άνθρακονημάτων. Πολλές μελέτες έχουν γίνει για να βρεθούν τις βέλτιστες παραμέτρους που θα παράγουν τις πιο ποιοτικές συγκολλήσεις για αυτό το υλικό.

3.2.3 Ιατρική βιομηχανία

Στην ιατρική βιομηχανία η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται συχνά επειδή δεν εισάγει τους μολυσματικούς παράγοντες στα σώματα που πρόκειται να συγκολληθούν, ούτε επιτρέπει την υποβάθμιση της συγκόλλησης. Η διαδικασία μπορεί επίσης να αυτοματοποιηθεί, παρέχει αυστηρό έλεγχο των διαστατών ανοχών και δεν παρεμποδίζει την βιοσυμβατότητα των μερών. Επομένως, αυξάνει την ποιότητα και μειώνει τις δαπάνες παραγωγής. Στοιχεία όπως τα αρτηριακά φίλτρα, τα φίλτρα αναισθησίας, οι καθετήρες, οι σωλήνες διάλυσης, τα σταγονόμετρα, τα φίλτρα αίματος και φίλτρα αερίου, οι μάσκες προσώπου και πολλά άλλα ιατρικά είδη μπορούν να φτιαχτούν χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική συγκόλλησης. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή στην ιατρική βιομηχανία για την συγκόλληση με υπέρηχους είναι τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Στοιχεία όπως τις εσθήτες νοσοκομείων, αποστειρωμένα ενδύματα, μάσκες και τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα για τα αποστειρωμένα δωμάτια μπορούν να σφραγιστούν και να ραφτούν χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους. Αυτό αποτρέπει τη μόλυνση και την σκόνη.

3.2.4 Βιομηχανίες συσκευασίας

Η συσκευασία είναι ίσως η εφαρμογή στην οποία η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται συχνότερα. Μια απίστευτα ευρεία σειρά καθημερινών αντικειμένων είτε δημιουργούνται είτε συσκευάζονται χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική συγκόλλησης. Μερικές κοινές εφαρμογές σ' αυτό το τομέα είναι η σφράγιση εμπορευματοκιβωτίων, σωλήνες και διάφορες άλλες συσκευασίες, όπως οι συσκευασίες κυψελών (blisters).

Η συγκόλληση με υπέρηχους εφαρμόζεται επίσης στη συσκευασία των επικίνδυνων υλικών όπως οι εκρηκτικές ύλες, τα πυροτεχνήματα και άλλες αντιδραστικές χημικές ουσίες. Αυτά τα στοιχεία απαιτούν αεροστεγής σφράγιση αλλά δεν μπορούν να υποβληθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Ένα απλό παράδειγμα αυτής της εφαρμογής είναι το δοχείο ενός αναπτήρα βουτανίου. Αυτή η συγκόλληση πρέπει να είναι σε θέση να αντισταθεί στην υψηλή πίεση και πρέπει να είναι αεροστεγής για να περιέχει το βουτάνιο. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η συσκευασία των πυρομαχικών και των προωθητηρίων. Πάλι, αυτές οι συσκευασίες πρέπει να είναι σε θέση να αντισταθούν στην υψηλή πίεση προκειμένου να προστατεύσουν τον καταναλωτή από το περιεχόμενο. Κατά την σφράγιση επικίνδυνων υλικών η ασφάλεια είναι μια αρχική ανησυχία. Κατά συνέπεια, η αξιοπιστία και η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας είναι ισχυρά ωφέλιμη για τις επιχειρήσεις.

Η βιομηχανία τροφίμων προτιμά την συγκόλληση με υπέρηχους από τις παραδοσιακές τεχνικές συγκόλλησης επειδή είναι γρήγορη, υγειονομική και μπορεί να παραγάγει αεροστεγείς σφραγίδες. Τα δοχεία γάλακτος και χυμού είναι παραδείγματα μερικών προϊόντων που σφραγίζονται συχνά χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική συγκόλλησης. Τα χάρτινα μέρη που σφραγίζονται είναι επικαλυμμένα με το πλαστικό, γενικά με πολυπροπυλένιο ή πολυαιθυλένιο και έπειτα συγκολλούνται για να δημιουργηθεί μια αεροστεγής σφραγίδα. Το κύριο εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί σε αυτήν την διαδικασία είναι ο καθορισμός των παραμέτρων. Παραδείγματος χάριν, εάν υπερ-συγκολληθεί η συγκέντρωση του πλαστικού στη ζώνη συγκόλλησης μπορεί να είναι πάρα πολύ χαμηλή και να αναγκάσει τη σφραγίδα να σπάσει. Εάν υπό-συγκολληθεί, η σφραγίδα είναι ελλιπής. Επίσης, οι διαφορές στα πάχη των υλικών μπορούν να προκαλέσουν διαφορές στην ποιότητα συγκόλλησης.

Επομένως, η προετοιμασία των υλικών που ενώνονται στενά είναι εξαιρετικά σημαντική. Μερικά άλλα στοιχεία τροφίμων που σφραγίζονται χρησιμοποιώντας την συγκόλληση με υπέρηχους, περιλαμβάνουν τα περιτυλίγματα καραμελών, τις συσκευασίες παγωμένων τροφίμων και τα δοχεία ποτών.

3.3. Περίληψη

Περίληπτικά, οι βιομηχανίες ηλεκτρικών και υπολογιστών, αυτοκίνητων, αεροδιαστημικών, ιατρικών, και συσκευασίας, είναι μερικές από τις πολλές βιομηχανίες στις οποίες η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για να συναρμολογήσουμε από τα μικροκυκλώματα έως τα χαρτοκιβώτια γάλακτος. Αυξάνεται η χρησιμότητά σε πολλές από αυτές τις βιομηχανίες λόγω των μικρών κύκλων ζωής, της αυτοματοποίησης, των χαμηλών κύριων δαπανών, της ευελιξίας, της καθαρότητας και της σύνδεσης των ανόμοιων υλικών. Μερικά από τα μειονεκτήματα της συγκόλλησης με υπέρηχους είναι ότι η χρήση της περιορίζεται από το πάχος των υλικών, μπορεί να απαιτήσει ακριβά και εξειδικευμένα εργαλεία και μπορεί να παραγάγει θόρυβο. Αυτά τα μειονεκτήματα υπερνικούνται με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας. Θα είναι ενδιαφέρον να μελετήσουμε πώς αυτή η μοναδική τεχνολογία συγκόλλησης συνεχίζει να χρησιμοποιείται.

Κεφάλαιο 4: Μηχανή συγκόλλησης με υπερήχους

4.1. Επισκόπηση μίας μηχανής συγκόλλησης με υπερήχους

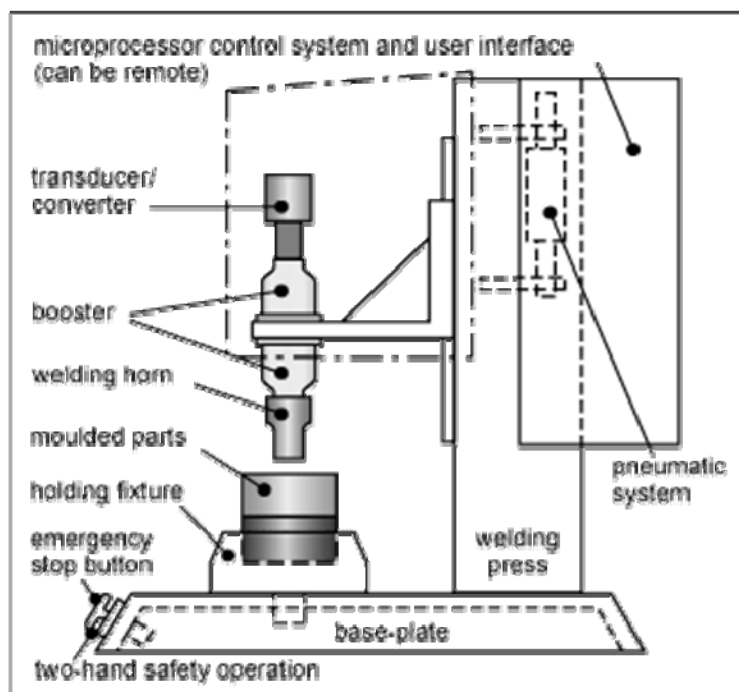
Η υπερηχητική ενέργεια προέρχεται από τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής συχνότητας σε μηχανική ενέργεια υψηλής συχνότητας.

Η ηλεκτρική ενέργεια περνά μέσω μιας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία ρυθμίζει την ηλεκτρική ενέργεια στην επιθυμητή συχνότητα. Αυτή η ενέργεια εισάγεται έπειτα σε έναν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια υψηλής συχνότητας ή σε δονήσεις. Μέσω της γεωμετρικής μορφής της οι μηχανικές δονήσεις βγαίνοντας από τον μετατροπέα σταθεροποιούνται στην επιθυμητή σειρά των ενισχύσεων.

Τα ενισχυμένα μηχανικά κύματα ταξιδεύουν από τον ενισχυτή στο κέρασ συγκόλλησης που μεταφέρει τις δονήσεις στο σώμα ή σώματα που πρόκειται να συγκολληθούν. Εκτός από τη μεταφορά των οριζόντιων δονήσεων το κέρασ εφαρμόζει μια δύναμη στερέωσης μεταξύ των δύο κομματιών εργασίας, που είναι τοποθετημένα μεταξύ την άκρη του κέρατος και την βάση του μηχανήματος συγκόλλησης. Ο σκοπός τους είναι να βοηθήσουν στην αποτροπή την ανεπιθύμητη ολίσθηση των κομματιών εργασίας. Το κάτω κομμάτι εργασίας κρατιέται στάσιμο, ενώ το πάνω κομμάτι εργασίας ταλαντεύεται αναλογικά με την ταλάντωση του κέρατος.

4.2. Εξοπλισμός μίας μηχανής συγκόλλησης υπέρηχους

Ο εξοπλισμός μιας μηχανής συγκόλλησης με υπέρηχους [9] αποτελείται από μια μηχανική πρέσα, μια γεννήτρια, έναν μετατροπέα, έναν ενισχυτή, ένα κέρασ, και μια βάση συστατικής υποστήριξης. Μια σχηματική αναπαράσταση μιας μηχανής συγκόλλησης με υπέρηχους παρουσιάζεται στο σχήμα παρακάτω (σχήμα 7).



Σχήμα 7: Μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους

4.2.1 Γεννήτρια

Η γεννήτρια μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ από τους μονοφασικούς κεντρικούς αγωγούς στη σωστή συχνότητα και την σωστή τάση για να μετατραπούν σε μηχανικές δονήσεις στον μετατροπέα. Η μονάδα μικροεπεξεργαστών ελέγχει τον κύκλο συγκόλλησης και ανατροφοδοτεί με τις βασικές πληροφορίες συγκόλλησης τον χρήστη που εμφανίζονται στη οθόνη του. Η διεπαφή (interface) επιτρέπει επίσης στο χειριστή να εισαγάγει τους απαραίτητους παραμέτρους συγκόλλησης.

4.2.2 Μηχανική πρέσα

Ο σκελετός της μηχανής συγκόλλησης με υπέρηχους είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να κρατήσει και να στερεώσει ολόκληρο το σύστημα συγκόλλησης και να εφαρμόσει τη απαραίτητη δύναμη για τη συγκόλληση. Αποτελείται από την βάση ,δηλαδή την βάση στήριξης ή στερέωσης, για να κρατήσει και να στερεώσει όλο το σύστημα, και ένα πνευματικό κύλινδρο. Επίσης η μηχανή παρέχει έναν μετρητή πίεσης και έναν ρυθμιστή για τη ρύθμιση της πίεσης της συγκόλλησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια ιδιαίτερη πίεση που τίθεται στο ένα κομμάτι του εξοπλισμού συγκόλλησης με υπέρηχους δεν θα παράσχει απαραίτητως την ίδια δύναμη συγκόλλησης με μια άλλη μηχανή που τίθεται στην ίδια πίεση μετρητών. Η δύναμη συγκόλλησης πρέπει να βαθμολογηθεί χρησιμοποιώντας ένα κύτταρο φορτίων έτσι ώστε η άμεση σύγκριση των δυνάμεων συγκόλλησης μπορεί να γίνει από τη μηχανή στη μηχανή.

Υπάρχει επίσης μια βαλβίδα ελέγχου ροής για να επιτρέπει τη ρύθμιση της ταχύτητας με την οποία το κεφάλι συγκόλλησης πλησιάζει το συστατικό που πρόκειται να δεχτεί την συγκόλληση. Μερικοί κατασκευαστές εξοπλισμού χρησιμοποιούν ένα ηλεκτρομαγνητικό σύστημα εφαρμογής δύναμης αντί του παραδοσιακού πνευματικού κυλίνδρου. Αυτό μας δίνει καλύτερο έλεγχο και καλύτερη ακρίβεια κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, πράγμα που μπορεί να είναι ευεργετικό κατά την ένωση των μικρών ή λεπτών συστατικών και αντικειμένων.

4.2.3 Η στοίβα συγκόλλησης (welding stack)

Η στοίβα συγκόλλησης (σχήμα 8) είναι το μέρος της μηχανής που παρέχει τις υπερηχητικές μηχανικές δονήσεις. Είναι γενικά μια τριμερής μονάδα που αποτελείται από τον μετατροπέα, τον ενισχυτή, και τον κέρα συγκόλλησης, και τοποθετείτε συνήθως σε κέντρο-σημείο της μηχανής συγκόλλησης. Η στοίβα είναι μια ελεγχόμενη αντηχητική μηχανή. Προκειμένου να λειτουργήσει, η αντηχητική συχνότητα του ηλεκτρικού σήματος που προέρχεται από τη γεννήτρια πρέπει να είναι γύρο στα 30 Hz περίπου.

Ο μετατροπέας, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια σε μηχανικές δονήσεις που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία συγκόλλησης. Ο μετατροπέας αποτελείται από πιέζω-ηλεκτρικούς κεραμικούς δίσκους που τοποθετούνται και στριμώνονται μεταξύ δύο φραγμών μετάλλων, συνήθως φτιαγμένα από τιτάνιο. Μεταξύ κάθε ενός από τους δίσκους υπάρχει μια λεπτή μεταλλική πλάκα, η οποία παίζει το ρόλο του ηλεκτροδίου. Δεδομένου ότι το ημιτονοειδές ηλεκτρικό σήμα εισέρχεται στο μετατροπέα μέσω του ηλεκτροδίου, οι δίσκοι επεκτείνονται και συστέλλονται, παράγοντας μια αξονική μετακίνηση, η οποία φτάνει μια μέγιστη τιμή των 15 έως 20 μm. Οι μετατροπείς είναι λεπτές και πολύ ευαίσθητες συσκευές που πρέπει να αντιμετωπιστούν και να χειριστούν με μεγάλη προσοχή.

Ο ενισχυτής συγκόλλησης εξυπηρετεί δύο σκοπούς, αρχικά για να ενισχύσει τις μηχανικές δονήσεις που παράγονται στον μετατροπέα και να τις μεταφέρει στο κέρασ (sonotrode ή horn) συγκόλλησης. Ο δεύτερος σκοπός του είναι να παράσχει μια θέση δηλαδή ένας χώρος για να τοποθετήσει η στοίβα πάνω στη μηχανική πρέσα. Ο ενισχυτής επεκτείνεται και συστέλλεται όταν δέχεται τις μηχανικές δονήσεις που προέρχονται από τον μετατροπέα.



Σχήμα 8: Ενισχυτής συγκόλλησης

Ο ενισχυτής, όπως άλλα στοιχεία στη στοίβα συγκόλλησης, είναι μια συντονισμένη συσκευή επομένως πρέπει να αντηχήσει σε μια συγκεκριμένη συχνότητα προκειμένου να γίνει η μεταφορά της υπερηχητικής ενέργειας από το μετατροπέα στο κέρασ (sonotrode ή

horn) συγκόλλησης. Προκειμένου να λειτουργήσει επιτυχώς, πρέπει το υλικό από τον οποίο είναι φτιαγμένος ο ενισχυτή να είναι $\frac{1}{2}$ το μήκος του υπερηχητικού κύμα που το διαπερνάται ή να είναι πολλαπλασιαστής του μήκους του κύματος αυτού.

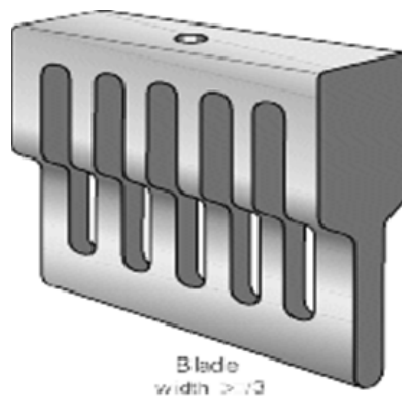
4.2.4 Το κέρασ συγκόλλησης (sonotrode ή welding horn)

Το κέρασ συγκόλλησης (σχήμα 9 και 10) είναι το στοιχείο της στοίβας συγκόλλησης που παρέχει την ενέργεια δηλαδή τις υπερηχητικές δονήσεις στο συστατικό που θα συγκολληθεί. Το σχήμα του κέρατος συγκόλλησης είναι κρίσιμο για μια επιτυχή συγκόλληση. Συνιστάται να πραγματοποιείται και να γίνει η κατασκευή των κέρατων συγκόλλησης μόνο από εξειδικευμένες εταιρίες στην συγκόλληση με υπέρηχους.

Το κέρασ συγκόλλησης, όπως ο ενισχυτής συγκόλλησης, είναι μια συντονισμένη συσκευή, η οποία στην πλειοψηφία των εφαρμογών, παρέχει επίσης μηχανικός κέρδος. Κατασκευάζεται γενικά είτε από αλουμίνιο είτε από τιτάνιο.

Τα κέρατα συγκόλλησης φτιαγμένα από αλουμίνιο τείνουν να χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές μικρούς όγκους διότι τα κέρατα αυτά κατά την συγκόλληση την εκτεταμένη χρήση τους εμφανίζουν ένα φαινόμενο το, λεγόμενο “wear”, το οποίο διαμορφώνει το σχετικά μαλακό αλουμίνιο. Γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε κέρατο αλουμινίου με σκληρές άκρες για να αποφεύγουμε αυτό το ιδιαίτερα προβληματικό φαινόμενο κατά την συγκόλληση. Όπως με το συμπληρωματικό στοιχείο, πρέπει το υλικό από τον οποίο είναι φτιαγμένος ο ενισχυτή να είναι $\frac{1}{2}$ το μήκος του υπερηχητικού κύμα που το διαπερνάται ή να είναι πολλαπλασιαστής του μήκους του κύματος αυτού. Αυτό εξασφαλίζει τη ύπαρξη αρκετό και ικανοποιητικό εύρος συχνότητας στο τέλος του κέρατος συγκόλλησης για να επηρεάσει τη συγκόλληση. Το εύρος είναι χαρακτηριστικά μεταξύ 30 και 120 μμ. Η μορφή και το σχήμα του κέρατος συγκόλλησης είναι σημαντικό παράμετρο για την επιτυχία της συγκόλλησης, γιατί λάθος σχεδιασμός κέρατος μπορεί να οδηγήσει στη συγκέντρωση δυνάμεων εντός του που θα προκαλεί την επέκταση και συστολή του, ύστερα θα μπορούσε να οδηγήσει στη εμφάνιση μικρό-ραγίσματα, και να σπάσει στους υψηλούς εύρους συχνοτήτων. Σε μερικές εφαρμογές το κέρασ συγκόλλησης κατασκευάζεται με αυλακώσεις που κατανέμονται κατά την αξονική

κατεύθυνση του. Αυτές η αυλακώσεις πρόκειται να εξασφαλίσουν πως το μέγιστο εύρος δόνησης διαπερνά το κέρασ κατά μήκος του. Η άκρη του κέρατος συγκόλλησης παραδίδει την υπερηχητική ενέργεια στο σώμα που θα δεχτεί την συγκόλληση.



Σχήμα 9: Κέρασ συγκόλλησης

Η άκρη του κέρατος πρέπει να σχεδιαστεί για να ταιριάζει με το στοιχείο που πρόκειται να συγκολληθεί. Αυτό θα εξασφαλίσει την επιτάχυνση και την μεγιστοποίηση της μεταφοράς της υπερηχητικής ενεργείας ανάμεσα του κέρατου και του στοιχείου. Συνήθως, την άκρη του κέρατος σχεδιάζεται και φτιάχνεται έτσι ώστε να ταιριάζει με τα περιγράμματα του στοιχείου προς συγκόλλησης.



Σχήμα 10: Κέρατα συγκόλλησης

4.2.5 Βάση υποστήριξης

Τελικά, η βάση της μηχανικής συγκόλλησης με υπέρηχους, υποστηρίζει τα εργαλεία που υποστηρίζουν τα σώματα ή τα συστατικά κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Η βάση υποστήριξης έχει ως σκοπό να αποτρέψει τη μετακίνηση του κάτω συστατικού ενώ εφαρμόζεται ο υπέρηχος. Το εσωτερικό της μέρος εκεί που ακουμπάει το επεξεργαζόμενο σώμα ή στοιχείο φτιάχνεται συνήθως έτσι ώστε να έχει το σχήμα της επιφάνειας του έτσι ώστε να σταθεροποιείται καλύτερα κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

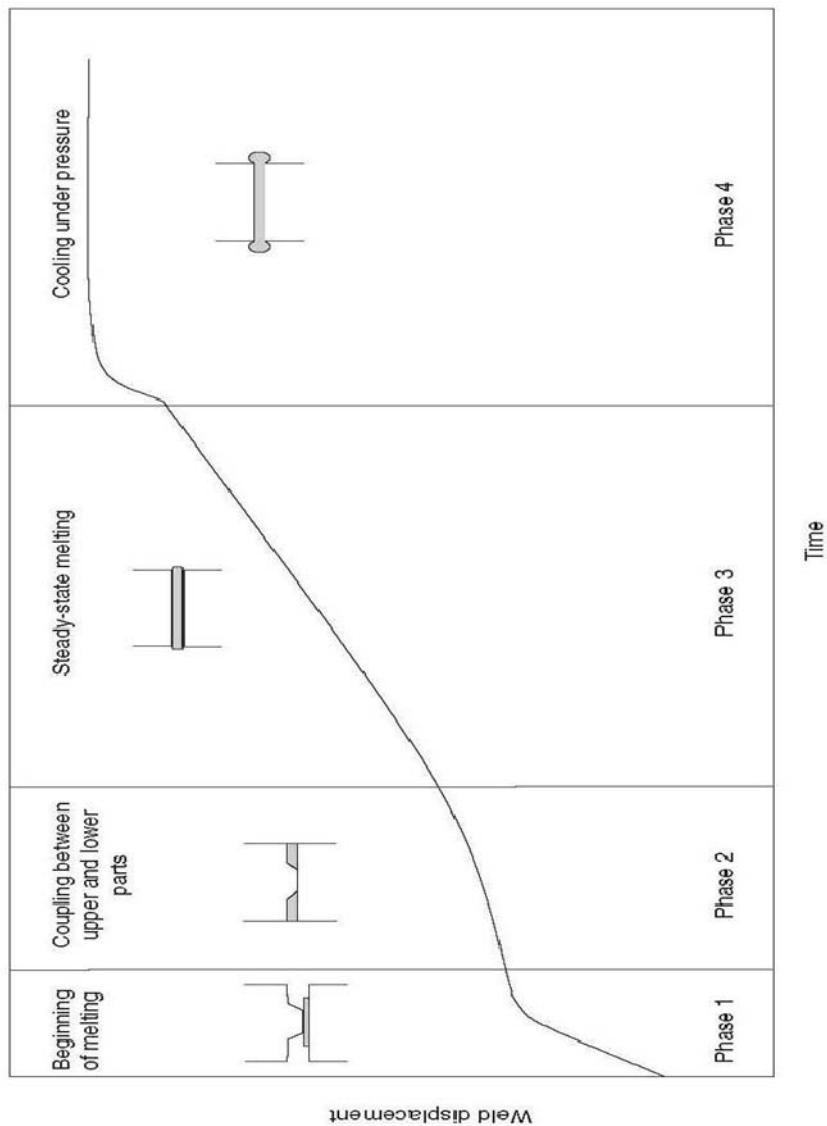
Κεφάλαιο 5: Διαδικασία συγκόλλησης με υπέρηχους

Η συγκόλληση με υπέρηχους είναι μια διαδικασία που χαμηλός εύρος (0.003" - 0.01") υψηλής συχνότητας (20 - 40 kHz) ημιτονοειδής μηχανικής δόνησης εφαρμόζεται σε δυο η παραπάνω θερμοπλαστικά στοιχεία προκειμένου να συγκολληθούν μεταξύ τους. Μέρος της εφαρμοζόμενης μηχανικής δόνησης που δέχεται το στοιχείο προς συγκόλλησης τον παραμορφώνει και το υπόλοιπο χάνεται μέσα στο θερμοπλαστικό σαν θερμότητα λόγω της μοριακής τριβής που εμφανίζεται [15].

Οι αύλακες που βρίσκονται στα άκρα εκεί που είναι τα σημεία επαφής τις επιφάνειας των στοιχείων είναι αυτές που παραμορφώνονται περισσότερο, θερμαίνονται και λειώνουν, ρέουν λόγω της ασκούμενης πίεσης, στην ψύξη στερεώνεται και σκληραίνει η ένωση που παραμορφώσαμε, κα έτσι γίνεται η συγκόλληση. Τη διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 11).

Στην πράξη ο κατασκευαστής φτιάχνει μια τεχνική αύλακα, αποκαλούμενη “ενεργειακός κατευθυντής” (energy director), στη μορφή μικρής προβολής που προεξέχει από την επιφάνεια του στοιχείου προς συγκόλλησης που βρίσκεται στο πάνω μέρος συνήθως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 12. Κατά την συγκόλληση με υπέρηχους ο ενεργειακός κατευθυντής λειώνει, και με την ψύξη του δημιουργεί την ένωση και την συγκόλληση των στοιχείων. Γεωμετρικά ο ενεργειακός κατευθυντής φτιάχνεται και κατασκευάζεται έτσι ώστε να έχει τη μικρότερη επιφάνεια επαφής για να γίνει μεγιστοποίηση συγκέντρωση ενέργειας στο σημείο αυτό έτσι ώστε να είναι πιο αποτελεσματικός

Τα σχήματα (13 και 14) παρουσιάζουν τη ρύθμιση για την κοντινή και μακρινή τεχνική συγκόλλησης [27].



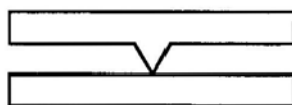
Σχήμα 11: Διαδικασία συγκόλλησης με υπερήχους

Η κοντινή τεχνική συγκόλλησης είναι αυτή που η απόσταση από την άκρη του κέρατος στην ένωση είναι λιγότερη των 6 mm. Εάν αυτή η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 6mm, η διαδικασία καλείται τη τεχνική μακρινής συγκόλλησης. Δεδομένου ότι η απόσταση από το κέρασ στην ένωση είναι λιγότερη η μικρότερη από 6mm στην κοντινή τεχνική συγκόλληση, το εύρος της δόνησης στον ενεργειακό κατευθυντή (energy director) είναι ουσιαστικά το ίδιο όπως στην άκρη του κέρατος (horn). Λόγω της ελαχίστης απόστασης

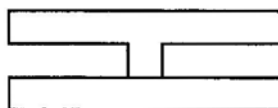
μεταξύ κέρατος συγκόλλησης και ένωσης στη κοντινή τεχνική συγκόλλησης οι απώλειες είναι ελάχιστες. Αυτή η διαδικασία και τεχνική συγκόλλησης λειτουργεί καλά και είναι αποτελεσματική για τα άμορφα και ημι-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά [16].

Ακόμα κι αν η συγκόλληση θέρμων πλακών και δόνησης είναι στενοί ανταγωνιστές στην συγκόλληση με υπέρηχους στην ένωση και συγκόλληση των θερμοπλαστικών, η συγκόλληση με υπέρηχους προσφέρει περισσότερα πλεονεκτήματα, για παράδειγμα η συγκόλληση με υπέρηχους είναι πολύ πιο γρήγορη, αυτοματοποιείται εύκολα και είναι ασυναγώνιστη στη συγκόλληση των μικρομεσαίων μεγέθους σωμάτων και στοιχείων που το μέγιστο μήκος τους φτάνει τα 200 mm περίπου.

Μέχρι σήμερα, υπάρχουν πολλές λίγες διαθέσιμες ποσοτικές πληροφορίες για την συγκόλληση με υπέρηχους. Είναι μια πολύ δημοφιλής τεχνική και έχει την ικανότητα της ένωσης και συγκόλλησης άμορφα και ημι-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά. Επομένως υπάρχει μια ανάγκη να γίνει κατανοητή ποσοτικά η διαδικασία της συγκόλλησης αυτής. Η κύρια εστίαση αυτής της έρευνας ήταν επομένως τη βελτιστοποίηση και την εξήγηση των παραμέτρων που παίζουν ρολό στην συγκόλλησης με υπέρηχους για τα άμορφα και ημι-κρυσταλλικά θερμοπλαστικά.

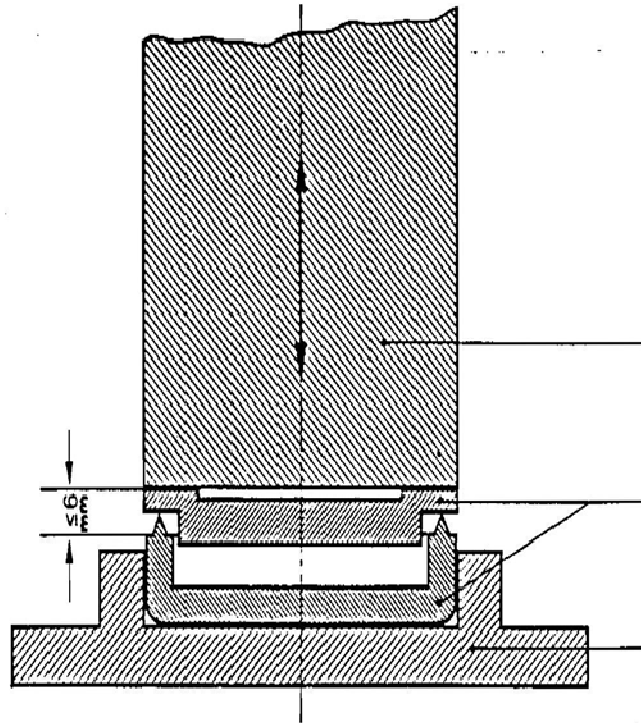


(a)

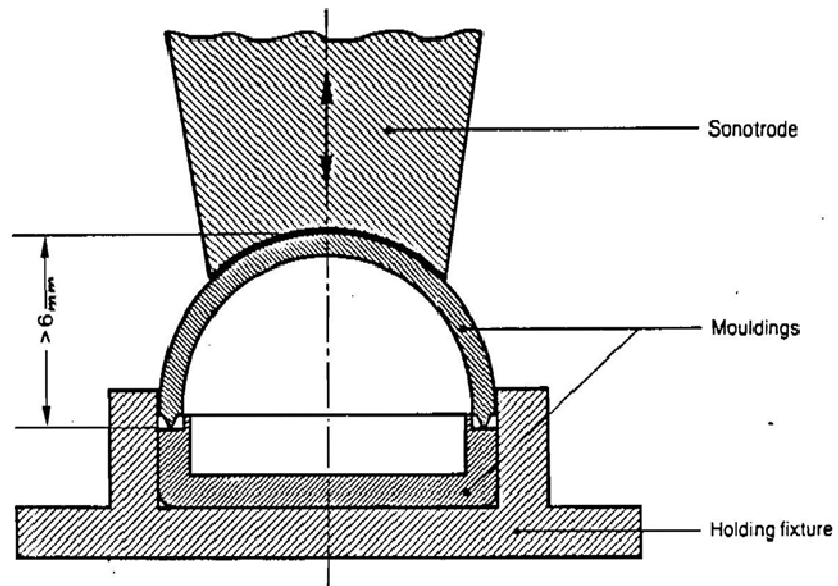


(b)

Σχήμα 12: Τριγωνικός και ορθογώνιος ενεργειακός κατευθυντής



Σχήμα 13: Η συγκόλληση με υπερήχους των τομέων από μικρή απόσταση



Σχήμα 14: Η υπερηχητική συγκόλληση τομέων από απόσταση

Κεφάλαιο 6: Η συγκόλληση με υπερήχους στη Θεωρία

6.1. Η ιξώδης-ελαστική συμπεριφορά των θερμοπλαστικών

Η ιξώδης-ελαστική συμπεριφορά είναι η ιδιότητα των υλικών που εκθέτουν και τα ιξώδη και τα ελαστικά χαρακτηριστικά κατά στην παραμόρφωση τους. Τα ιξώδη υλικά, όπως το μέλι, αντιστέκονται χρονικά στη ροή και στη γραμμική πίεση όταν σε αυτά ασκούνται και εφαρμόζονται κάποιες δυνάμεις. Τα ελαστικά υλικά είναι τα υλικά που τεντώνονται στιγμιαία όταν δέχονται εκφυλιστική δύναμη ή κάποια άλλη πίεση και επιστρέφουν γρήγορα στη αρχική τους κατάσταση, μόλις αφαιρεθεί η πίεση. Τα ιξώδη-ελαστικά υλικά έχουν τα στοιχεία και των δύο ιδιοτήτων και έχουν μια συμπεριφορά χρονικά εξαρτημένη υπό πίεση. Εκτιμώντας ότι η ελαστικότητα είναι συνήθως το αποτέλεσμα του τεντώματος δεσμών κατά μήκος των κρυσταλλογραφικών επιπέδων μέσα σε ένα στερεό, το ιξώδες είναι το αποτέλεσμα της διάχυσης των ατόμων ή των μορίων μέσα σε ένα άμορφο υλικό.

Όπως είπαμε προηγουμένως τα θερμοπλαστικά εκθέτουν μια συμπεριφορά που είναι χρονικά εξαρτημένη, όπως τον ερπυσμό, και τη χαλάρωση [46]. Ο ερπυσμός είναι η χρόνο-απάντηση στο σταθερό φορτίο και η χαλάρωση είναι η χρόνο-απάντηση στη σταθερή πίεση. Ένα θερμοπλαστικό υλικό δεν είναι ούτε τέλεια ελαστικό ούτε τέλεια ιξώδες αντιθέτως εκθέτει μια συμπεριφορά που είναι κάπου μεταξύ δύο άκρων. Γενικά μπορούμε να το ονομάσουμε ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά.

Ένα ελαστικό υλικό μπορεί παρουσιαστεί χρησιμοποιώντας ένα απλό ελατήριο όπως φαίνεται στον ακόλουθο σχήμα (σχήμα 15) [26].



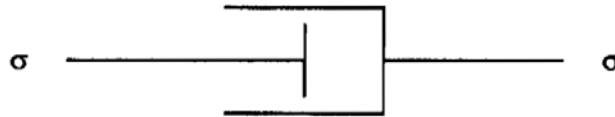
Σχήμα 15: Σκίτσο ενός ελατηρίου, που παρουσιάζει το νόμο Hook

Από το νόμο Hooke, ξέρουμε το εξής

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Όπου σ είναι η εφαρμοσμένη πίεση, E είναι η πίεση και το ε είναι ο συντελεστής του Young.

Ομοίως ένα ιξώδες υλικό μπορεί να παρουσιαστεί σαν ένα αμορτισέρ όπως φαίνεται στον σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 16)



Σχήμα 16: Σκίτσο του αμορτισέρ για να καταδείξει το νόμο του νευτώνειου ρευστού

Για ένα νευτώνειο ρευστό, ισχύει:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Όπου τ είναι η εφαρμοσμένη πίεση, η είναι το ιξώδες του ρευστού και $\dot{\gamma}$ είναι το ποσοστό πίεσης.

Το σημαντικό σημείο που πρέπει να θυμηθούμε κάθε φορά που προσπαθούμε να διαμορφώσουμε ένα υλικό που εμφανίζει μια ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά είναι ότι είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις ιδιότητες και της αλλαγές του όσον αφορά το χρόνο και τη θερμοκρασία

6.2. Η σημασία του ενεργειακού κατευθυντή (energy director)

Όπως αναφέραμε νωρίτερα είναι απαραίτητο και πολύ σημαντικό, κατά την συγκόλληση με υπέρηχους, να συγκεντρωθεί η δονητική ενέργεια στον ενεργειακό διευθυντή [17].

Συγκρίνοντας τις συγκολλήσεις με και χωρίς διαχωριστές (spacers), διαπιστώθηκε ότι η δύναμη και η σταθερότητα της συγκόλλησης αυξήθηκαν με τη χρήση ενός για έναν ενεργειακό κατευθυντή. Από την αναλογία των πιέσεων στα δείγματα με και χωρίς διαχωριστές ο συντελεστής της ενεργειακής συγκέντρωσης στο διαχωριστή διαιρέθηκε. Μετά από θεωρητικές και πειραματικές μελέτες βρέθηκε το ακόλουθο, ότι η ενεργειακή συγκέντρωση είναι όχι μόνο η υψηλότερη για ένα εξάρτημα με διαχωριστές, αλλά και ότι είναι υψηλότερη από αυτό που διαθέτει ένας μαλακός διαχωριστής. Τα αποτελέσματα πολλών πειραμάτων έδειξαν επίσης ότι λόγω των υψηλότερων ποσοστών θέρμανσης στα εξαρτήματα με τους μαλακούς διαχωριστές, ο χρόνος συγκόλλησης ήταν επίσης πιο σύντομος.

Χρησιμοποιώντας μια απλή ιξώδη-ελαστική ανάλυση [18] αποδείχθηκε και βρέθηκε, θεωρητικά και πειραματικά, ότι το ποσοστό θέρμανσης στους ορθογώνιους ενεργειακούς κατευθυντές ανεβαίνει ραγδαία με ένα τρόπο που ο ενεργειακός κατευθυντής θερμαίνεται πιο πολύ από το ίδιο το προς συγκόλληση στοιχείο. Όταν ο ενεργειακός κατευθυντής φτάνει σε μια θερμοκρασία που είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη χαρακτηριστική θερμοκρασία επεξεργασίας για το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο, ο ενεργειακός διευθυντής θα λιώσει και θα ρέει έξω, μεταξύ των μερών των στοιχείων προς συγκόλληση και έτσι θα ενωθούν μεταξύ τους. Τα δύο σώματα συμπιέζονται διά πίεση και μια συγκόλληση διαμορφώνεται.

Για το σχεδιασμό των ενώσεων της συγκόλλησης με υπέρηχους με την χρήση των ενεργειακών κατευθυντών μελέτησε και μας μίλησε ο Sylvio J. Mainolfi [29]. Κατά ένα γενικό και ποιοτικό τρόπο, διαπιστώθηκε ότι το βέλτιστο μέγεθος του ενεργειακού κατευθυντή για να μας δώσει τις καλύτερες ποιοτικές συγκολλήσεις για τα άμορφα θερμοπλαστικά έχει ένα ύψος 0,01" και 0,02" για τα ήμι-κρυστάλλινα θερμοπλαστικά. Επίσης, στην ένωση των άκαμπτων πλαστικών [30] διαπιστώθηκε ότι οι άκρες με σχήμα V ενώνονται και συγκολλούνται γρηγορότερα και παρέχουν τις υψηλότερες δυνάμεις ένωσης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί εύκολα επειδή οι ενεργειακοί κατευθυντές με σχήμα V

θερμαίνονται γρηγορότερα από τους άλλους ενεργειακούς κατευθυντές που έχουν διαφορετικό σχήμα.

6.3. Ενεργειακός διασκορπισμός

Στην μελέτη του ο Aloiso [18] χρησιμοποίησε μια ελαστική ανάλυση για να προβλέψει το ποσοστό ανόδου θερμοκρασίας στον ενεργειακό κατευθυντή κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης με υπέρηχους. Ο E'' συντελεστής απώλειας, που είναι ένα εκτός φάσης στοιχείο, δίνει ένα μέτρο της ενέργειας που απελευθερώνεται ως θερμότητα ανά κύκλο της παραμόρφωσης. Αυτή η υλική ιδιοκτησία προήλθε από μια μονοδιάστατη γραμμική αξονική παραστήσει (τάσης – πίεσης) και χρησιμοποιήθηκε σε μια θέρμο-ιξώδη-ελαστική εξίσωση θέρμανσης. Τα θεωρητικά αποτελέσματα που βρήκε ο Aloiso ήταν παρόμοια με τα πειραματικά στοιχεία για όλους τους θερμοπλαστικούς. Οι κλίσεις θερμοκρασίας ήταν της διάταξης 1000 °C/s.

Από τη συντήρηση της ενέργειας και το νόμο Fourier της διεξαγωγής θερμότητας, ο Tolunay [31] περιέγραψε τη διεξαγωγή θερμότητας. Συνδύασε αυτό το μονοδιάστατο πρότυπο με το αδιαβατικό τρόπο θέρμανσης που προσφέρθηκε από τον Aloisio [18]. Για τον πρώτο τρόπο, η θερμοκρασία των στοιχείων προς συγκόλληση βρέθηκε να είναι υψηλότερη από αυτή που μετρήθηκε. Η εσωτερική ή γενική θερμοκρασία εντούτοις υποτιμήθηκε χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική. Η δεύτερη τεχνική ή μοντέλο υποτίμησε την άνοδο θερμοκρασίας των σωμάτων, η οποία βρέθηκε να είναι μόνο 70 °C. Θα μπορούσαμε να περιμένουμε ένα μεγαλύτερο ποσό θερμότητας να διασκορπιστεί μέσα στα στοιχεία ή σώματα λόγω του αυστηρού τεντώματος στις επιφάνειες. Επομένως οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συνολική θέρμανση ήταν ένας συνδυασμός του ογκομετρικού διασκορπισμού σε ολόκληρο τον ενεργειακό κατευθυντή και της εντοπισμένης θέρμανσης κοντά στις επιφάνειες των στοιχείων.

Διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που διασκορπίζεται, κάποιος πρέπει να ξέρει το εύρος πίεσης e_0 και το συντελεστή απώλειας, E'' του υλικού. Ο συντελεστής απώλειας είναι ένα μέτρο της δυνατότητας του υλικού να χάνει ή να διασκορπίζει την ενέργεια μέσω της δια-μοριακής τριβής [14] και είναι σημαντικό, επίσης, να ξέρουμε πως διαφέρει και αλλάζει σε σχέση με την συχνότητα και την θερμοκρασία.

6.4. Επίδραση της συχνότητας και της θερμοκρασίας στο E' και E''

Η θερμοκρασία είναι αρκετά σημαντική και έχει μια έντονη επίδραση στον συντελεστή αποθήκευσης (E') και συντελεστής απώλειας (E'') των θερμοπλαστικών. Στη θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού, T_g , υπάρχουν μεγάλες κινήσεις στις σειρές των άμορφων πολυμερών αλυσίδων τμημάτων. Αυτό είναι χαρακτηρισμένο από τη μεγάλη πτώση του συντελεστή αποθήκευσης και την απότομη άνοδο του συντελεστή απώλειας. Το άκαμπτο πολυμερές σώμα μπορεί να αρχίσει να συμπεριφέρεται ως ιξώδες υγρό σε μια θερμοκρασία που είναι ανώτερη της T_g και η διαγώνια σύνδεση και η κρυστάλλωση μπορούν να μειώσουν αυτήν την επίδραση αλλά δεν την αφαιρούν τελείως [34]. Κατά συνέπεια τα ημικρυστάλλινα πολυμερή σώματα παρουσιάζουν διάφορες στο E' και το E'' σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Ο Ferry [13] περιγράφει μια θεωρία των μειωμένων μεταβλητών που μας επιτρέπει να προβλέψουμε τη συμπεριφορά αυτού του συντελεστή, σε ένα ιδιαίτερο χρόνο ή σε μια ιδιαίτερη συχνότητα και θερμοκρασία από τα πειράματα που εκτελούνται σε κάποιο άλλο χρόνο ή σε κάποια άλλη συχνότητα και θερμοκρασία.

Οι Read και Dean [19] παρατήρησαν μια μικρή αύξηση στο E' για το polystyrene με την αυξανόμενη συχνότητα και μια ισοπέδωση στις υψηλότερες συχνότητες. Κοντά στα σημεία κάμψης, τις καμπύλες E' , παρατηρήθηκαν τα μέγιστα σημεία E'' . Η ισοπέδωση στο E' θεωρήθηκε πως εμφανίστηκε επειδή τα μόρια δεν ανταποκρίνονται γρήγορα στις αλλαγές που δέχονται μια φόρτωση στα φάσματα υψηλής συχνότητας.

6.5. Ο σχεδιασμός των Συστατικών (component design) στην συγκόλληση με υπέρηχους

Ένας από τους βασικούς παράγοντες στην επιτυχία της συγκόλλησης με υπέρηχους είναι ο καλός σχεδιασμός των συστατικών, ειδικότερα ο καλός σχεδιασμός και η σωστή παραμόρφωση των επιφανειών που θα συγκολληθούν μεταξύ τους δηλαδή ο σχεδιασμός της ένωσης [9].

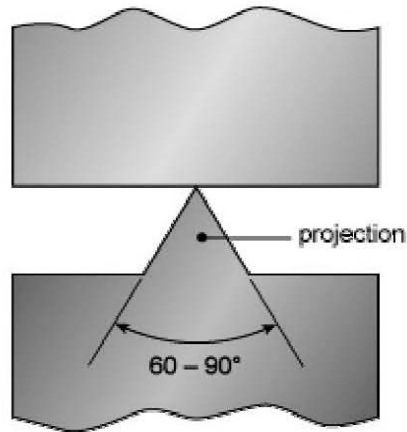
Υπάρχει μια ποικιλία από σχέδια ενώσεων, κάθε ένας με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και πλεονεκτήματα. Η επιλογή του σχεδίου εξαρτάται από τα ακόλουθα:

- 1- Τύπος θερμοπλαστικού
- 2- Γεωμετρία επιφανιών
- 3- Απαιτήσεις συγκόλλησης
- 4- Αισθητικούς λόγους

Μια από τις βασικές προϋποθέσεις οποιουδήποτε σχεδίου ένωσης στην συγκόλληση με υπέρηχους είναι μια μικρή ομοιόμορφη αρχική περιοχή επαφών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μια ένωση προβολής ή μια κοφτή ένωση.

6.5.1 Η ένωση προβολής

Η βασική προβολή ενός κατευθυντής ενεργείας παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα



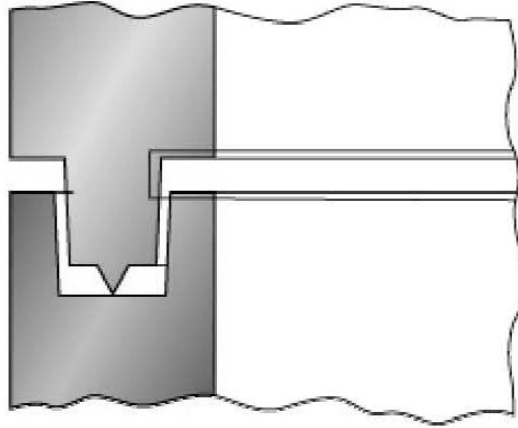
Σχήμα 17: Η ένωση προβολής (projection joint)

Η ένωση αποτελείται από ένα μικρό τριγωνικό τμήμα που φορμάρεται στη επιφάνεια του συστατικού και απλώνεται κατά μήκους του περιμέτρου της ένωσης.

Ο σκοπός του ενεργειακού κατευθυντή είναι να στρέψει την υπερηχητική ενέργεια στην κορυφή, με συνέπεια μια γρήγορη συγκέντρωση της θερμότητας. Αυτό αναγκάζει το τριγωνικό τμήμα να λειώσει και να ρεύσει ανάμεσα από τις επιφάνειες της ένωσης, διαμορφώνοντας μια συγκόλληση.

Ο τύπος του θερμοπλαστικού που είναι προς συγκόλληση καθορίζει τη μορφή του τριγωνικού ενεργειακού κατευθυντή.

Τα άμορφα υλικά απαιτούν ένα ορθογώνιο τρίγωνο με τη γωνία 90° στην κορυφή. Για τα ημικρυστάλλινα υλικά, χρησιμοποιείται μια ισόπλευρη προβολή 60°. Τα χαρακτηριστικά ύψη για τους ενεργειακούς κατευθυντές είναι μεταξύ 0,2 έως 1,0 χιλ., ανάλογα με το υλικό. Η ένωση προβολής ευνοείται για τη χρήση με τα άμορφα πλαστικά υλικά όπως το PC, τα ABS και PS όπου δεν απαιτείται μια ερμητική σφραγίδα. Το σχήμα παρακάτω παρουσιάζει μια παραλλαγή της ένωσης προβολής, υπό μορφή σχεδίου γλώσσας.



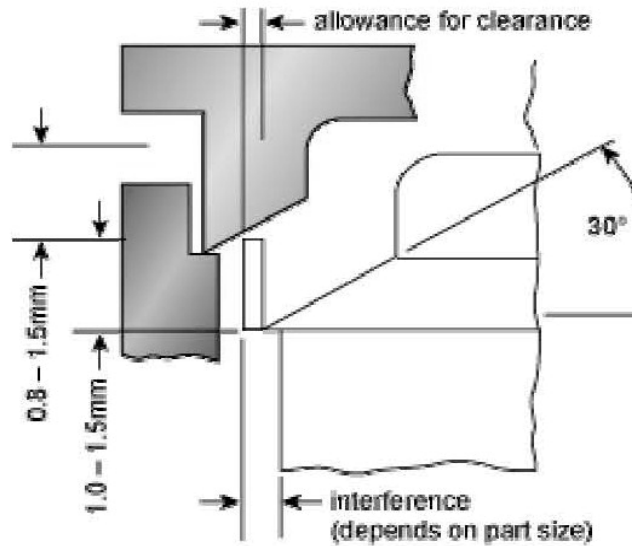
Σχήμα 18: Η παραλλαγή της ένωσης προβολής, υπό μορφή σχεδίου γλώσσας

Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδίου είναι ότι η λάμψη συγκόλλησης είναι κρυμμένη και τα μέρη των στοιχείων που ενώνονται αυτό-εντοπίζονται. Εντούτοις, η δύναμη της ένωσης δηλαδή της συγκόλλησης είναι σχετικά αδύνατη δεδομένου ότι η συγκόλληση έγινε μόνο στο μισό πλάτος της ένωσης όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

6.5.2 Η κοφτή ένωση shear joint

Για μερικές εφαρμογές, μια ένωση προβολής μπορεί να μην παρέχει την ικανοποιητική δύναμη που απαιτείται. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κοφτή ένωση.

Ένα βασικό σχέδιο αυτής της ένωσης παρουσιάζεται στον ακόλουθο σχήμα.



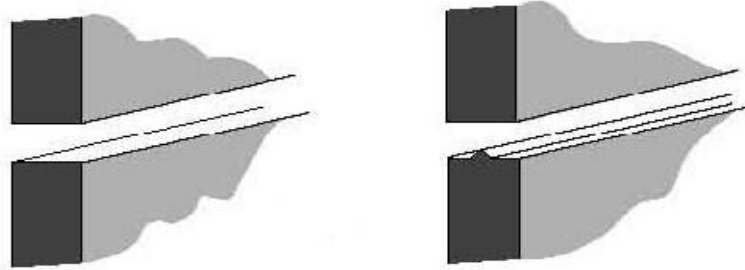
Σχήμα 19: Η κοφτή ένωση (shear joint)

Η ένωση επιτρέπει σε ένα συστατικό να κόψει μέσα στο άλλο, το οποίο παρέχει ένα αυτό-εντοπισμό το ένα συστατικό τον άλλο. Η συγκόλληση ολοκληρώνεται με τα ακόλουθα βήματα, πρώτα με το λιώσιμο της μικρής αρχικής περιοχής επαφής και έπειτα συνεχίζει να λιώνει, βεβαία κατά ελεγχόμενη παρέμβαση του χειρίστη, κατά μήκος των κάθετων τοιχωμάτων των δυο σωμάτων. Το γεγονός πως λιώνουν τα δυο πλαστικά σώματα της ένωσης και οι επιφάνειες τους λερώνονται με λιωμένο υλικό, είναι ευεργετικό για δυο λόγους. Αρχικά, αποβάλλει τις διαρροές και τα κενά και έτσι μια ισχυρή ερμητική συγκόλληση παράγεται. Αφετέρου, αποβάλλει την έκθεση στον αέρα, που αποτρέπει την πρόωρη στερεοποίηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα ημικρυσταλλικά υλικά, τα οποία αλλάζουν γρήγορα από μια λιωμένη κατάσταση σε μια στερεά κατάσταση σε πολύ λίγο χρόνο. Για αυτό το λόγο, τα ημικρυσταλλικά υλικά πρέπει μόνο να συγκολλούνται με υπέρηχους με αυτή τη τεχνική, δηλαδή χρησιμοποιώντας μια κοφτή ένωση. Η κάθετη διάσταση της συγκόλλησης, που είναι συνήθως μεταξύ 1,0 και 1,5 mm, ελέγχει τη δύναμη της ένωσης και μπορεί να ρυθμιστεί για να ταιριάζει με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ένα παράμετρο που πρέπει να προσέχουμε κατά το σχεδιασμό μιας κοφτής ένωσης είναι το πάχος των τοιχωμάτων του κάτω μέρους της ένωσης, το οποίο πρέπει να είναι αρκετό για να αποτρέψει την

εξωτερική μετακίνηση κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Επίσης πρέπει να παρέχουμε μια στήριξη για τα εξωτερικά τοιχώματα των συστατικών προς συγκόλληση, συνήθως αυτό γίνεται με την χρήση κάποιων εξαρτημάτων σταθεροποίησης .

Παρακάτω έχουμε μερικά σχήματα από τις πιο γνώστες ενώσεις προβολής και ενώσεις shear:

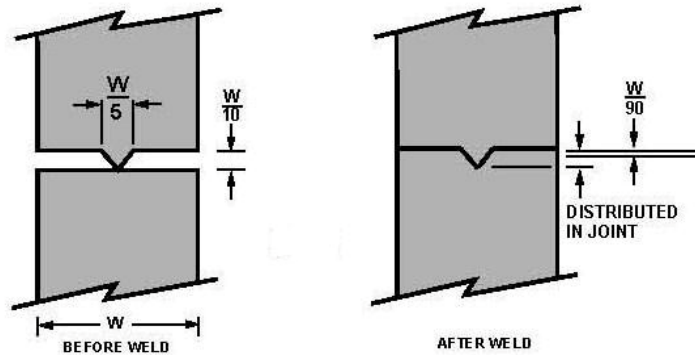
6.5.3 Η τροποποιημένη ένωση



Σχήμα 20: Η τροποποιημένη ένωση

Οι τροποποιημένες ενώσεις επιτρέπουν τη γρήγορη συγκόλληση και μας δίνουν τη μέγιστη συγκολλητική δύναμη. Λιώνοντας το υλικό του ενεργειακού κατευθυντή γίνεται η ουσία που ρέει και απλώνεται ανάμεσα από τις επιφάνειες επαφής των δύο σωμάτων, επιτρέποντας την συγκόλληση τους.

6.5.4 Η απλή ένωση προβολής

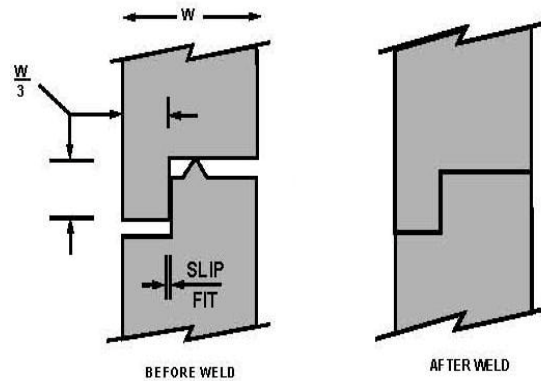


Σχήμα 21: Η απλή ένωση προβολής

Η απλή ένωση προβολής είναι ο τύπος ένωσης που τροποποιείται με τη χρήση τους ενεργειακούς κατευθυντές που με τις επιθυμητές αναλογίες του κατασκευαστή λιώνουν και ρέουν στο εσωτερικό μέρος της ένωσης κατά την υπερηχητική συγκόλληση..

Οι ενεργειακοί διευθυντές πρέπει να παραμορφωθούν και να φτιαχτούν με τις σωστές αναλογίες έτσι ώστε όταν λιώνει το υλικό τους να είναι αρκετός και να απλωθεί ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή επαφής για να πραγματοποιηθεί μια σωστή και δυνατή συγκόλληση.

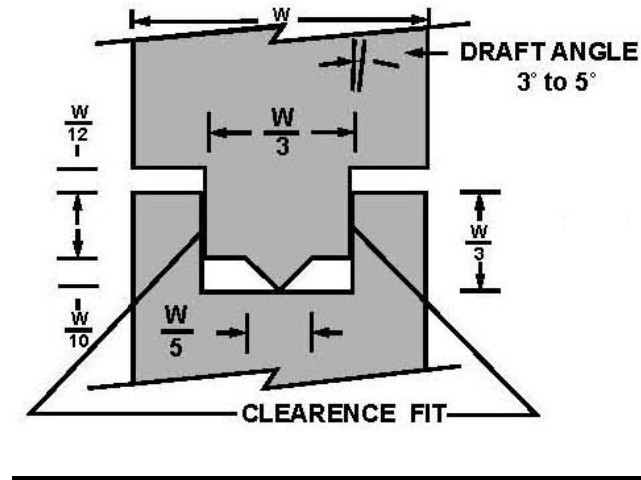
6.5.5 Η ένωση Step



Σχήμα 22: Η ένωση Step

Η ένωση step χρησιμοποιείται όπου η δημιουργία μιας χάντρας συγκόλλησης στις πλευρές δε θα είναι δεκτή. Η ένωση step είναι μια τεχνική ένωσης που συνδυάζει την ένωση shear μαζί με την ένωση με ενεργειακό κατευθυντή. Αυτή η ένωση είναι συνήθως πολύ ισχυρότερη από την απλή ένωση προβολής, το υλικό από τον ενεργειακό κατευθυντή ρέει ανάμεσα από τις επιφάνειες και γεμίζει τα κενά και το κόψιμο που έχουμε δημιουργήσει πλευρικά, που καθιερώνει μια σφραγίδα που παρέχει τη δύναμη στην ένωση.

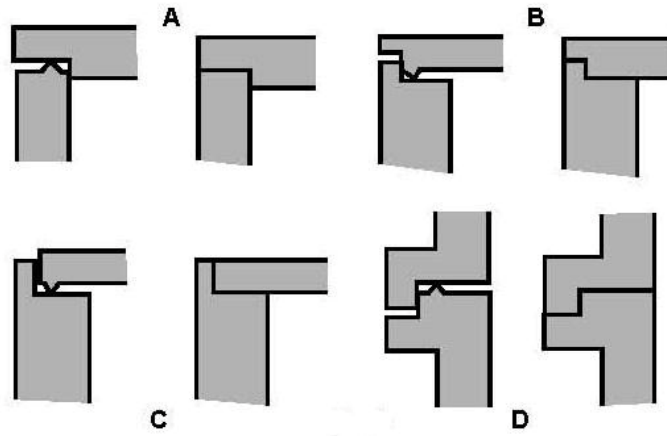
6.5.6 Η αυλακωτή ένωση



Σχήμα 23: Η αυλακωτή ένωση

Μια ένωση αυλακιού έχει συνήθως την ικανότητα να παρέχει την μέγιστη δύναμη για τις ενώσεις στην συγκόλληση με υπέρηχους. Η ανάγκη να διατηρηθεί το κενό και στις δύο πλευρές της γλώσσας, το καθιστά μια από τις δυσκολότερες ενώσεις για να φορμαριστεί. Οι γωνίες του τον ενεργειακό κατευθυντή μπορούν να τροποποιηθούν, αντιθέτως οι παρεμβάσεις μεταξύ των στοιχείων πρέπει να αποφευχθούν και πρέπει να κρατήσουμε όσο το δυνατόν ορθές γωνίες μεταξύ τους.

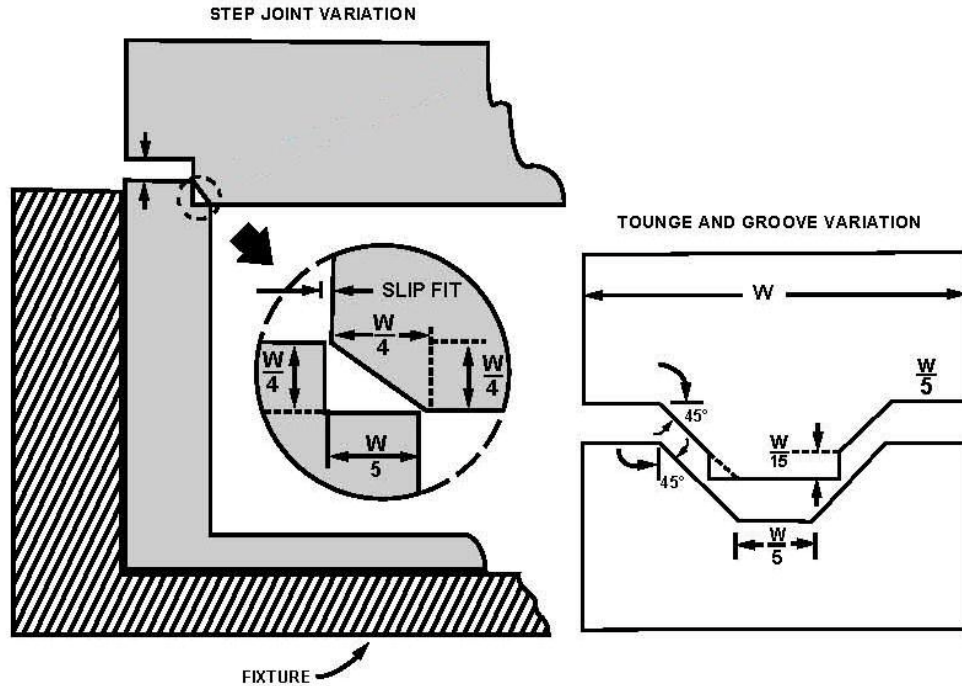
6.5.7 Βασικές παραλλαγές ενώσεων κατάλληλες για την συγκόλληση με υπέρηχους



Σχήμα 24: Βασικές παραλλαγές ενώσεων κατάλληλες για την υπερηχητική συγκόλληση

Οι συγκεκριμένες εφαρμογές μπορούν να απαιτήσουν μια μικρή τροποποίηση. Κάποιες από τις προτεινόμενες οδηγίες σχετικά με τις χαρακτηριστικές αναλογίες των ενώσεων είναι: οι πρακτικές εκτιμήσεις προτείνουν για τον ενεργειακό κατευθυντή να έχει ελάχιστο ύψος 0,005". Συνήθως δύο ή περισσότεροι ενεργειακοί κατευθυντές πρέπει να φτιαχτούν και να φορμαριστούν για τις ενώσεις για να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα.

6.5.8 Η Παρεμβατική ένωση



Σχήμα 25: Η Παρεμβατική ένωση

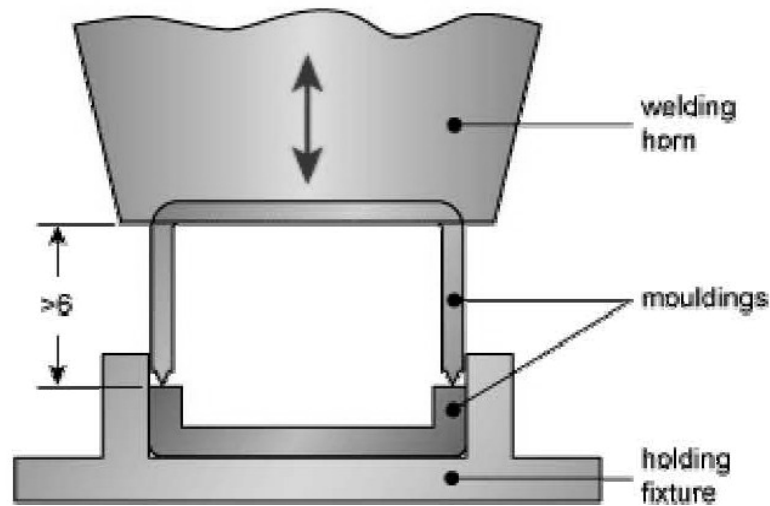
Η παρεμβατική ένωση χρησιμοποιείται για τα κρυστάλλινα θερμοπλαστικά όπως το νάιλον πολυαιθυλένιο, και πολυπροπυλένιο, όταν μια ερμητική ένωση απαιτείται. Δεδομένου ότι οι κρυστάλλινες ρητίνες (όπως νάιλον) έχουν την τάση να γίνουν υγρά και να μην κρατήσουν το αρχικό τους σχήμα όταν θερμαίνονται κατά την διάρκεια της συγκόλλησης, με την χρήση αυτής της ένωσης ασφαλίζουμε πως οι επιφάνειες παραμένουν δροσερές και δε παραμορφώνονται και από την άλλη ο ενεργειακός κατευθυντής λιώνει και επιτρέπει στη συνέχεια τη συγκόλληση.

Σημείωση:

Όταν η παρεμβατική ένωση χρησιμοποιείται, η δύναμη της συγκόλλησης των κρυστάλλινων προσεγγίζει το 95% από την δύναμη των γονέων υλικών, από την άλλη, όταν χρησιμοποιείται η ένωση προβολής με ενεργειακό κατευθυντή, προσεγγίζει το 40 με 70%. Η παρεμβατική ένωση επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο επιφανειών κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου της συγκόλλησης των πλαστικών με την έκθεση όλο και περισσότερων επιφανειών κάτω από την επίδραση των υπερηχητικών δονήσεων και τη δύναμη της πίεσης.

6.6. Άλλες εκτιμήσεις σχεδιασμού

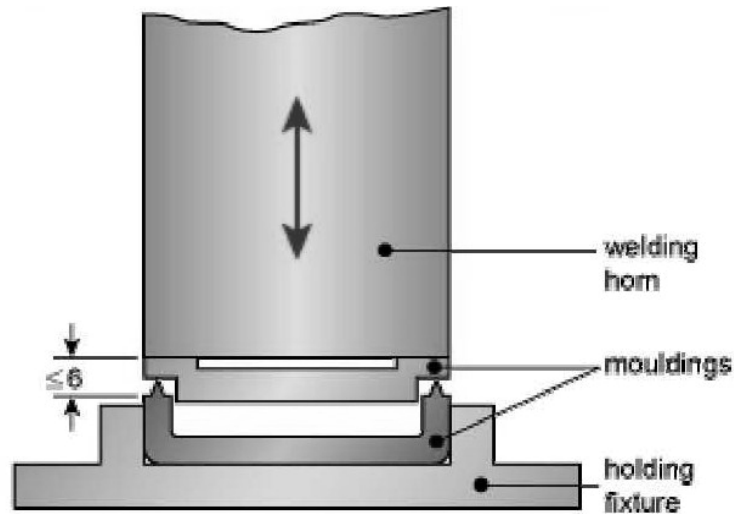
Εκτός από το σχεδιασμό της ένωσης, υπάρχουν και άλλα κριτήρια που πρέπει να προσέχουμε κατά το φορμάρισμα των υλικών στην συγκόλληση με υπέρηχους προκειμένου να είναι αποτελεσματική. Για παράδειγμα, η απόσταση των επιφανειών, δηλαδή η απόσταση μεταξύ της ένωσης και το κέρασ συγκόλλησης είναι ένα πολύ κρίσιμο μέγεθος. Στη συγκόλληση τομέων από απόσταση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 26: Η συγκόλληση τομέων από απόσταση

Είναι όπου η απόσταση του στοιχείου κέρατος συγκόλλησης είναι μεγαλύτερη από 6 χιλ. όπου αυτή η τεχνική συγκόλλησης και αυτή η ρύθμιση είναι καταλληλότερη για τα άκαμπτα άμορφα υλικά όπως PS, ABS και PMMA, τα οποία έχουν καλές ιδιότητες μετάδοσης υπερηχητικών δονήσαν.

Πολλά ημι-κρυσταλλικά υλικά, όπως τα PP, είναι υλικά που είναι κακοί αγωγοί για τις υπερηχητικές δονήσεις και την υπερηχητική ενέργεια, τα όποια απαιτούν για να γίνει σωστό κέρασ συγκόλλησης να βρίσκεται σε όσο το δυνατόν πιο κοντινή απόσταση από την ένωση. Αυτή η τεχνική καλείται κοντή συγκόλληση τομέων. Αυτή η τεχνική αποκομίζεται στο ακόλουθο σχήμα



Σχήμα 27: Η συγκόλληση τομέων από μικρή απόσταση

Για όλα τα υλικά, η χρήση της κοντινής συγκόλλησης τομέων είναι προτιμητέα, δεδομένου ότι απαιτεί τους πιο σύντομους χρόνους συγκόλλησης και τις χαμηλότερες πιέσεις. Οι αιχμηρές γωνίες στη σχηματοποίηση πρέπει να αποφευχθούν, δεδομένου ότι αυτές μπορούν να εντοπίσουν πρώτα την πίεση, οδηγώντας ενδεχομένως στο σπάσιμο του πλαισίου κατά την επίδραση της υπερηχητικής δονητικής ενέργειας. Οι ελάχιστες αποστάσεις, από 0,2 έως 0,5 mm, προτείνονται.

6.7. Η επίδραση του χρόνου και της πίεσης στη συγκόλληση με υπέρηχους

Για να μάθουμε την επίδραση του χρόνου και της πίεσης στη συγκόλληση με υπέρηχους ο Mozgoni [35] μελέτησε, για το PMMA (Polymethyl methacrylate) το οποίο είναι ένα διάφανες θερμοπλαστικό, την επίδραση του χρόνου συγκόλλησης και της πίεσης στη δύναμη των ενώσεων. Διαπιστώθηκε ότι αυξάνοντας τον χρόνο συγκόλλησης πάνω από 0.8 s, σε αυτή την περίπτωση, δεν έδειξε καμία βελτίωση στην δύναμη της συγκόλλησης. Ο αυξανόμενος χρόνος συγκόλλησης πέρα από αυτό δεν βελτίωσε τη δύναμη αλλά μάλλον αύξησε την υποβάθμιση του θερμοπλαστικού. Σε αυτό το χρονικό σημείο το θερμοπλαστικό φτάνει στη μέγιστη θερμοκρασιακή θερμοκρασία τήξης του, το ιξώδες του υλικού θα μειωθεί και το θερμοπλαστικό θα ρέει. Μόλις αρχίσει να εμφανίζεται η ροή, ο ενεργειακός διασκορπισμός πέφτει ακόμα κι αν το κέρας συγκόλλησης μπορεί ακόμα να δονείται [18], κατά συνέπεια συμπεραίνουμε ότι η αύξηση του χρόνου συγκόλλησης δε βελτιώνει τη δύναμη της ένωσης. Εάν η συγκόλληση εκτελείτε για εκτεταμένες χρονικές περιόδους αφότου έχει εμφανιστεί η ροή, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια υποβάθμιση του πολυμερούς σώματος το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση και τη εμφάνιση ρωγμών τα οποία θα οδηγήσουν με την σειρά τους στη μείωση της δύναμης της ένωσης.

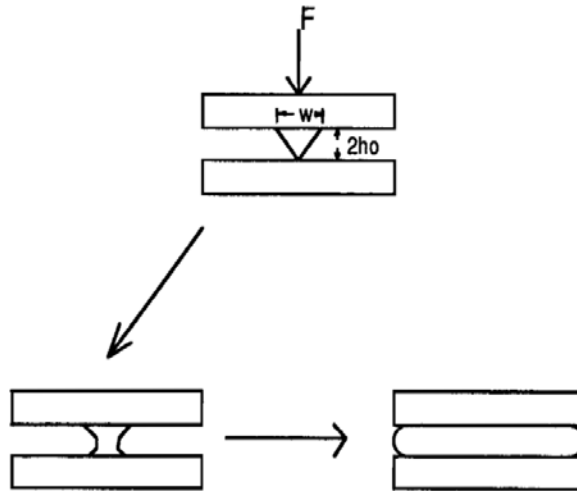
Για το PS (πολυστυρένιο) , διατηρώντας έναν σταθερό εύρος δόνησης [31], η επίδραση του χρόνου συγκόλλησης και της πίεσης συγκόλλησης παρατηρήθηκε. Διαπίστωσαν ότι η αύξηση της πίεσης συγκόλλησης οδήγησε σε μια αύξηση στο επίπεδο δύναμης που εξήγησε τα μεγαλύτερα ποσοστά ενεργειακού διασκορπισμού. Διαπίστωσαν ότι η ίδια δύναμη θα μπορούσε να επιτευχθεί σε έναν πιο σύντομο χρόνο συγκόλλησης με μια υψηλότερη πίεση συγκόλλησης. Όμως αυξάνοντας την πίεση συγκόλλησης από 20 έως 40 PSI, και σε χρόνο συγκόλλησης 0,4 s προκάλεσε μια μικρή πτώση στη δύναμη της ένωσης. Ο λόγος για αυτό αποδόθηκε στην καταστρεπτική επίδραση της ευθυγράμμισης των πολυμερών αλυσίδων στην κατεύθυνση της υλικής ροής.

Χρησιμοποιώντας μια υψηλής ταχύτητας τηλεοπτική φωτογραφική μηχανή [36] διαπιστώθηκε ότι το κέρας συγκόλλησης διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη μεταφορά της ενέργειας δόνησης στα μέρη. Επίσης διαπιστώθηκε ότι η βύθιση του ανώτερου μέρους μετά από τη συγκέντρωση πίεσης και την έναρξη της συγκόλλησης με υπέρηχους

πραγματοποιείται σταδιακά παρά συνεχώς. Ένα ορισμένο χρονικό διάστημα παραγράφηκε έως ότου το υλικό ξεκίνησε να λιώνει και να ρέει ανάμεσα από τις επιφάνειες προς συγκόλληση. Αυτός ο χρόνος ήταν εξαρτημένος και διέφερε από πείραμα στον άλλον από τη γεωμετρία της ένωσης και από τις ιδιότητες κάθε υλικό όπως η ακαμψία του, η θερμοκρασία τήξης του, το ιξώδες του, και άλλες πολλές ιδιότητες ακόμα.

6.8. Η ροή του ενεργειακού κατευθυντή υπό πίεση

Μόλις ο ενεργειακός κατευθυντής φτάνει στην θερμοκρασία τήξης του και αρχίζει το υλικό του να λιώνει, η εφαρμοσμένη πίεση αναγκάζει το λιωμένο θερμοπλαστικό να ρέει προς τα έξω γεμίζοντας τα κενά και διώχνοντας τον αέρα έξω από την περιοχή της ένωσης. Αυτό το περιστατικό της ροής για έναν τριγωνικό ενεργειακό κατευθυντή παρουσιάζεται σχηματικά στο κατωτέρω σχήμα



Σχήμα 28: Συμπίεση και ροή του τριγωνικού ενεργειακού κατευθυντή

Για τα άμορφα θερμοπλαστικά, η ροή εξαρτάται από ποσό ψηλά από την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης, T_g , θερμαίνονται. Αυτό συμβαίνει επειδή το ιξώδες εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία.

Γενικά κάποιος μπορεί να συγκρίνει τη ροή ενός ενεργειακού κατευθυντή και να το θεωρεί ως ένα νευτώνειο ρευστό [28]. Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα, το σχήμα της ροής του ενεργειακού κατευθυντή υπό πίεση, το πρότυπο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ροές υλικών που φτάνουν μέχρι τα άκρα των συστατικών προς συγκόλλησης. Αποδείχθηκε ότι όταν αυξάνουμε την πίεση συγκόλλησης, μειώνονται τα χάσματα και τα κενά στη ένωση το οποίο επιτρέπει μια καλύτερη επαφή των δυο επιφανειών

των στοιχείων και μια καλύτερη και δυνατότερη συγκόλληση. Ομοίως, η αύξηση του χρόνου συγκόλλησης οδηγεί επίσης σε μια μείωση στο χάσμα. Επίσης διαπιστώθηκε [31] ότι η αύξηση της δύναμης και της πίεσης συγκόλλησης προκάλεσε μια αύξηση στα επίπεδα δύναμης που οδήγησαν σε υψηλότερες θερμοκρασίες στις επιφάνειες της ένωσης. Μια αύξηση στη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε μια αρκετά μεγάλη πτώση στο ιξώδες. Μια πτώση στο ιξώδες συνοδεύεται από την ευκολότερη ροή του πολυμερούς σώματος που μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση του χάσματος μεταξύ των επιφανειών των στοιχείων όποιο πειράζει απευθείας την δύναμη της ένωσης.

Εντούτοις, υπάρχουν περιορισμοί στην πίεση που κάποιος μπορεί να εφαρμόσει. Μια χαμηλή πίεση συγκόλλησης θα οδηγούσε σε ένα μεγάλο χάσμα (h) που επιτρέπει μόνο πολύ λίγη επαφή μεταξύ των επιφανειών [38]. Στη συγκόλληση θερμοσμένων πλακών, για τις μεγάλες μετατοπίσεις, διαπιστώθηκε ότι μια μεγάλη μερίδα του καυτού λιωμένου πλαστικού σπρώχνεται εκτός της ζώνης συγκόλλησης, αφήνοντας ένα λεπτό στρώμα του ιδιαίτερα προσανατολισμένου υλικού στη συγκόλληση, γεγονός που μειώνει τη δύναμη της συγκόλλησης. Ομοίως, στην υ συγκόλληση με υπέρηχους, εάν η δύναμη ήταν πολύ μεγάλη, κάποιος θα ανέμενε μια μεγάλη ποσότητα του λιωμένου πλαστικού να σπρώχνεται υπό την πίεση που εφαρμόζεται από την πρέσα συγκόλλησης εκτός της ζώνης συγκόλλησης. Αυτό, θα κατεύθυνε τις μοριακές αλυσίδες του πλαστικού στην κατεύθυνση της ροής, και θα οδηγούσε σε μια αδύναμη ένωση που το πιο πιθανόν ήταν να σπάσει αν δεχόταν μια δύναμη ή μια καταπόνηση από την αντίθετη κατεύθυνση της ροής.

6.9. Η επίδραση του εύρους της δόνησης

Ο Aloisio [18] βρήκε μετά από μελέτη ότι ακόμα κι αν το κέρασ συγκόλλησης λειτουργούσε για ένα διάστημα 0.6 s, η θερμοκρασία μειωνόταν μετά από 0.2 s. Ο λόγος για αυτό ήταν, ότι μόλις έφτανε ο ενεργειακός κατευθυντής σε μια θερμοκρασία που ήταν αρκετή να επιτρέψει την τήξη του δηλαδή μια θερμοκρασία που σ' αυτή το ιξώδες του υλικού θα είναι αρκετά χαμηλό έτσι ώστε να επιτρέψει το υλικό να ρέει, κατόπιν μειώνεται ο ενεργειακός διασκορπισμός, ο οποίος κατεβάζει με την σειρά του την θερμοκρασία.. Αυτό συμβαίνει, επειδή, μόλις λιώσει ο ενεργειακός κατευθυντής συμπεριφέρεται ως ένα ρευστό ή υγρό που μπορεί να εξηγήσει μια μείωση στον ενεργειακό διασκορπισμό. Κατά συνέπεια η πίεση συγκόλλησης και το εύρος της δόνησης είναι από τους πιο σημαντικούς και βέλτιστους παραμέτρους που παίζουν μεγάλο ρολό στη συγκόλληση με υπέρηχους.

Μετά από τις μελέτες ο Mori [39] διαπιστώθηκε ότι η άνοδος θερμοκρασίας ήταν μέγιστη στις κοιλιές της διανομής εύρους. Όταν μια συγκόλληση με υπέρηχους γινόταν κατά αυτές τις συνθήκες η συγκόλληση ήταν επιτυχής και ο δεσμός ήταν κάλος και δυνατός. Από την άλλη όταν η άνοδος της θερμοκρασίας ήταν η χαμηλότερη στις κορυφές της διανομής εύρους και η συγκόλληση δεν ήταν επιτυχής, οδήγησε σ' έναν αδύναμο δεσμό και κακή συγκόλληση. Σε μια από τις μελέτες του ο Sovetov [40] διαπιστώθηκε ότι οι κοιλιές της διανομής εύρους πρέπει να είναι στη διεπαφή κέρατος έτσι ώστε η δυναμική πίεση θα ήταν στο επίπεδο της επαφής των δύο συστατικών προς συγκόλληση. Επίσης διαπιστώθηκε ότι συγκολλώντας σώματα που είχαν αυλακωμένες άκρες, το μήκος του ανώτερου μέρους καθοριζόταν κυρίως από τη γωνία της άκρης που έχει σχήμα V.

Ερευνώντας την ενεργειακή μετάδοση, την μετατροπή, και τη συγκόλληση των θερμοπλαστικών στην συγκόλληση με υπέρηχους, διαπιστώσαμε ότι η ενεργειακή μετάδοση στα μέρη εξαρτάται από το μήκος των σωμάτων και των στοιχείων προς συγκόλληση [41].

Μπορούμε να αναλύσουμε και να μελετήσουμε τη δυνατότητα συγκόλλησης των θερμοπλαστικών με τη βοήθεια δύο δεικτών

- a) Ο λογαριθμικός παράγοντας απόσβεσης – που είναι το μέτρο της μείωσης εύρους όταν η απόσταση από την άκρη κέρατων στην επιφάνεια στοιχείων έχει μετρό ένα μήκος κύματος

- b) Ο ενεργειακός δείκτης – που εξαρτάται από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης T_g για τα άμορφα θερμοπλαστικά και τη θερμοκρασία τήξης T_M για τα ημικρυστάλλινα θερμοπλαστικά.

Ένας μικρός λογαριθμικός δείκτης και ένας μικρός ενεργειακός δείκτης δείχνουν μια καλή υλική συγκόλληση στον κοντινό και μακρινό τομέα της συγκόλλησης με υπέρηχους. Ένας υψηλός λογαριθμικός και ενεργειακός δείκτης σημαίνει ότι η συγκόλληση ήταν καλή μόνο στον κοντινό τομέα.

6.10. Η επίδραση της συχνότητας στο E' και το E''

Ο συντελεστής αποθήκευσης (E') και ο συντελεστής απώλειας (E'') είναι δύο σημαντικές υλικές ιδιότητες που απαιτούνται για τη περιγραφή της ιξώδους-ελαστικής συμπεριφορά ενός θερμοπλαστικού. Το E' είναι ένα μέτρο της ενέργειας που αποθηκεύεται και που ανακτάται ανά κύκλο της παραμόρφωσης [18] και ο συντελεστής απώλειας είναι ένα μέτρο της ενέργειας της παραμόρφωσης που απελευθερώνεται ως θερμότητα ανά κύκλο.

Υπερηχητικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τους Read και Dean [19] για να καθοριστούν οι τιμές του E' και του E'' . Ηχητικές μετρήσεις ταχύτητας έγιναν για τα θερμοπλαστικά και παρακάτω είναι οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το λόγο αυτό.

$$E' = G' (3L' - 4G') / (L' - G')$$

Όπου το L' και τα G' είναι το μήκος και η σκληρότητα της ένωσης αντίστοιχα, όπου,

$$G' = \rho V_T^2$$

και

$$L' = \rho V_L^2$$

ρ είναι η πυκνότητα του πολυμερούς σώματος, το V_L και το V_T είναι η ταχύτητα επιμήκυνσης και η ταχύτητα δημιουργίας της ένωσης.

$$E'' = E' \tan \delta_E$$

Όπου δ_E είναι η εφαιπτομένη απώλειας και δίνεται από τις σχέσεις

$$\tan \delta_E = (\tan \delta_G - G'L'(\tan \delta_G - \tan \delta_L)) / (L' - G')(3L' - 4G')$$

Οι παράγοντες απώλειας είναι

$$\tan \delta_L = 2V_L \alpha / \omega$$

και

$$\text{Tan } \delta_G = 2V\alpha / \omega$$

Όπου α είναι ο συντελεστής απορρόφησης.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει ότι το E' μετρήθηκε από 5,0 MHz κάτω μέχρι 0,5 MHz. Στις χαμηλές συχνότητες όπως 2 KHz, η θερμοκρασία του πολυμερούς σώματος αυξάνεται λόγω του διασκορπισμού θερμότητας. Αυτό αλλάζει αρκετά το E' επίσης και επομένως οι μετρήσεις σε αυτές τις χαμηλές συχνότητες δεν ήταν δυνατόν να γίνονται σύμφωνα μ' αυτή τη μέθοδο.

FREQUENCY	READ & DEAN
	E' (GN/Sq.m)
20 KHz	5.9 (*)
0.5 MHz	5.95
1.0 MHz	5.99
2.25 MHz	6.03
5.0 MHz	6.06

Πίνακας 1: Στοιχεία E' για το PMMA Poly(methyl methacrylate) με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου

(*) Στοιχεία από την τεχνική διαμήκη αντήχησης

Όπως εξηγήσαμε πριν, η θερμοκρασία έχει μια έντονη επίδραση στο E' , η τιμή της πέφτει απότομα γύρω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης, T_g . Γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσει η υπέρθεση χρόνου-θερμοκρασίας και τη θεωρία των μειωμένων μεταβλητών. Η δημοσιευμένη αξία του E' από τον Read and Dean [19] στα 20 kHz ήταν 5.9 GN/Sq.m, και αυτό λήφθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμήκη αντήχησης. Σε αυτήν την μέθοδο οι συντάκτες μπόρεσαν να ελέγξουν τη θερμοκρασία και να την σταθεροποιήσουν περίπου γύρω στα 0,5 °C. Μπορούμε να δούμε στο προηγούμενο πίνακα

ότι οι τιμές του E' δεν διαφέρουν πολύ στις υψηλές συχνότητες. Αυτό εμφανίζεται επειδή τα μόρια δεν αποκρίνονται γρήγορα στη αλλαγή φόρτωσης στα φάσματα υψηλής συχνότητας [13]. Αυτό ισχύει, επειδή οι μακριές σειρές μορίων είναι όλες μπλεγμένες μεταξύ τους, και θα είναι δύσκολο να επιφέρουν οποιαδήποτε αλλαγή στη δομή τους εντός μιας μικρής χρονικής περιόδου.

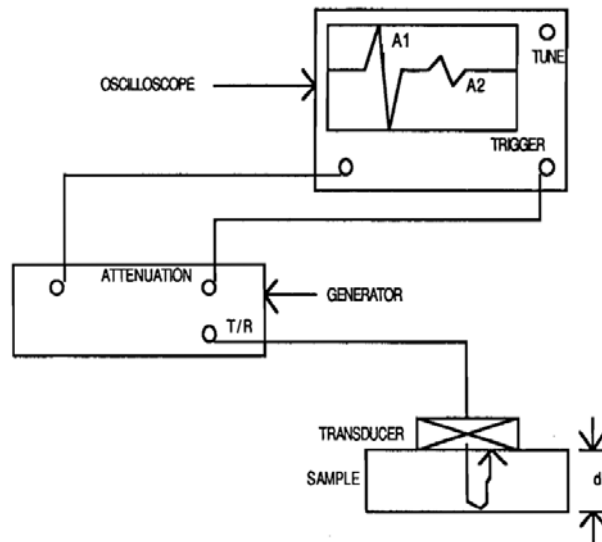
E'' υπολογίστηκε από Read και Dean [19] και τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα

FREQUENCY	READ AND DEAN
	E'' (GN/Sq.m)
20 KHz	0.17 (*)
0.5 MHz	0.12
1.0 MHz	0.1
2.25 MHz	0.08
5.0 MHz	0.06

Πίνακας 2: Στοιχεία E'' για PMMA Poly(methyl methacrylate) με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου

() Στοιχεία από την τεχνική διαμήκη αντήχησης*

Ο συντελεστής απώλειας από Read and Dean [19] στα 20 kHz είναι 0.17 GN/Sq.m. Τα πλαστικά είναι ιδιαίτερα εξασθενημένα υλικά, επομένως τα σήματα A1 και A2 που μετρήθηκαν ήταν αρκετά αδύνατα.



Σχήμα 29: Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου και της εξασθένησης

Γενικά παρατηρήθηκε ότι το E' παρέμεινε αρκετά σταθερό, παρουσιάζοντας μια μικρή αύξηση, αυξάνοντας την συχνότητα. E'' , από την άλλη μειώνεται αυξάνοντας την συχνότητα.

Η υπερηχητική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του συντελεστή αποθήκευσης (E') και του συντελεστή απώλειας (E'') για τα τέσσερα θερμοπλαστικά όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

FREQUENCY	E' (GN/Sq.m)			
	ABS	PS	PE	PP
20 KHz	3.0 *	2.7 *	4.0 *	3.9 *
0.5 MHz	3.08	2.8	4.21	4.07
1.0 MHz	3.1	3.1	4.22	4.09
2.25 MHz	3.23	3.06	4.25	4.13
5.0 MHz	3.26	3.09	4.38	4.16

Πίνακας 3: E' στοιχεία για ABS, PS, PE, και PP με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου

(*) στοιχεία από τη γραμμική παρέκταση 20 kHz

FREQUENCY	E" (GN/Sq.m)			
	ABS	PS	PE	PP
20 KHz	0.17 *	0.12 *	0.04 *	0.06 *
0.5 MHz	0.09	0.07	0.024	0.03
1.0 MHz	0.082	0.065	0.02	0.025
2.25 MHz	0.07	0.055	0.018	0.02
5.0 MHz	0.06	0.05	0.015	0.018

Πίνακας 4: E" στοιχεία για ABS, PS, PE, και PP με την χρήση της υπερηχητικής μεθόδου

() στοιχεία από τη γραμμική παρέκταση 20 kHz*

Όπως και για το PMMA παρόμοιες τάσεις φαίνονται και μπορούν επίσης να παρατηρηθούν με τα τέσσερα θερμοπλαστικά (ABS, PS, PE, και PP). Ε' αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας, και E" παρουσιάζει αιχμηρή μείωση με την αύξηση της συχνότητας.

ABS και PS είναι και τα δυο άμορφα πολυμερή σώματα και γι' αυτό εμφανίζουν ένα μεγαλύτερο E" από ότι εμφανίζουν τα PE ή PP, λόγω των απωλειών που προκύπτουν από την ολίσθηση εμπλοκής, από τα τμήματα αλυσίδων των μορίων. Στην περίπτωση των ημικρυστάλλινων πολυμερών σωμάτων, η μέση μοριακή διαστρέβλωση πλησιάζει το μέγιστό της στο τέλος της υαλώδους μετάβασης. Επομένως οι απώλειες είναι χαμηλότερες με συνέπεια μια χαμηλή τιμή E" επίσης. Η ακολουθία σε αύξουσα σειρά για το E" στα 20 kHz ήταν PE (0.04 GN/Sq.m), PP (0.06 GN/Sq.m), PS (0.12 GN/Sq.m), και ABS (0.17 GN/Sq.m).

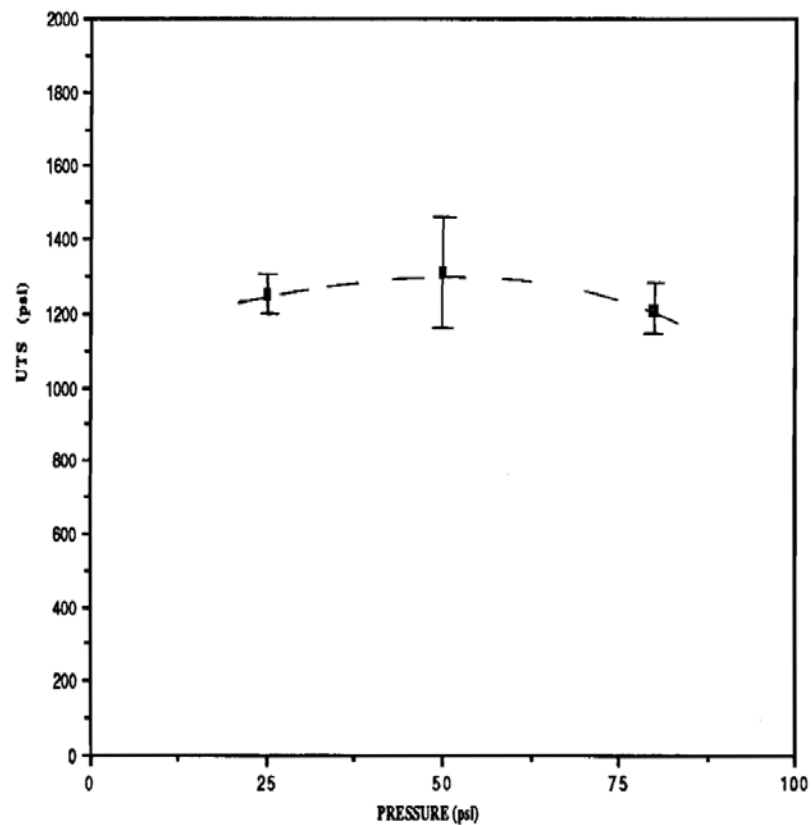
Λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, αναμένεται ότι το PE και τα PP θα είχαν το μέγιστο ενεργειακό διασκορπισμό επειδή E" αυξάνεται και φτάνει σε μια μέγιστη τιμή στα Tg και Tm. Για τα ABS και PS που είναι άμορφα θερμοπλαστικά, E" αυξάνεται και φτάνει σε μια μέγιστη τιμή μόνο στη Tg.

6.11. Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης

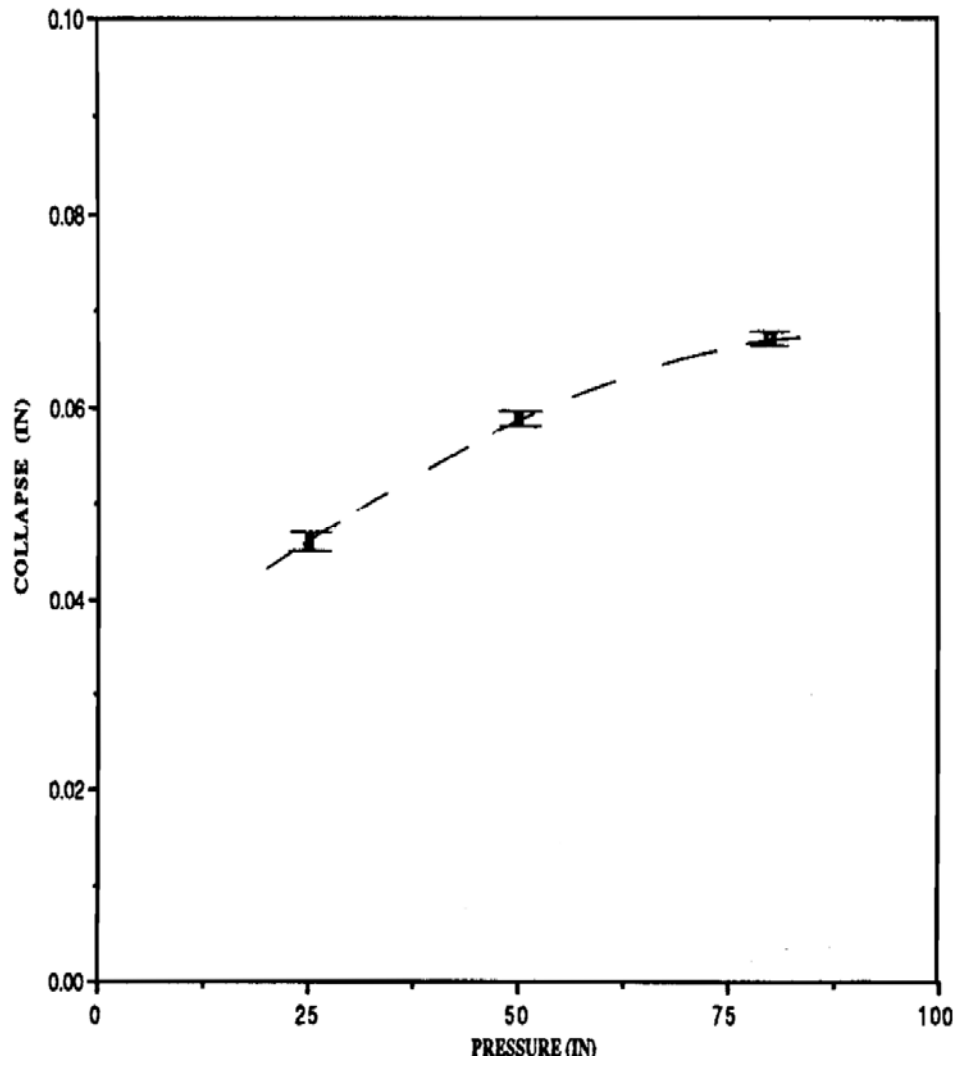
6.11.1 Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση

Η πίεση συνδέεται πολύ με τη ροή υλικού όπως το εξηγήσαμε πριν. Μόλις λιώσει ο ενεργειακός κατευθυντής, η εφαρμοσμένη πίεση βοηθάει το υλικό να ρέει το οποίο με την ροή του βοηθάει στην αύξηση της περιοχής επαφών μεταξύ των στοιχείων και της διεπαφής. Η κατάρρευση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του αρχικού χάσματος h_0 , και το τελικό χάσμα h (όπως φαίνεται στο σχήμα). Αυτοί συγκρίθηκαν με τις πειραματικές τιμές. Ένα σύνολο 3 πιέσεων συγκόλλησης χρησιμοποιήθηκε για να μελετήσει την επίδρασή τους στην κατάρρευση και τη δύναμη, τα οποία ήταν 25 PSI, 50 PSI, και 80 PSI.

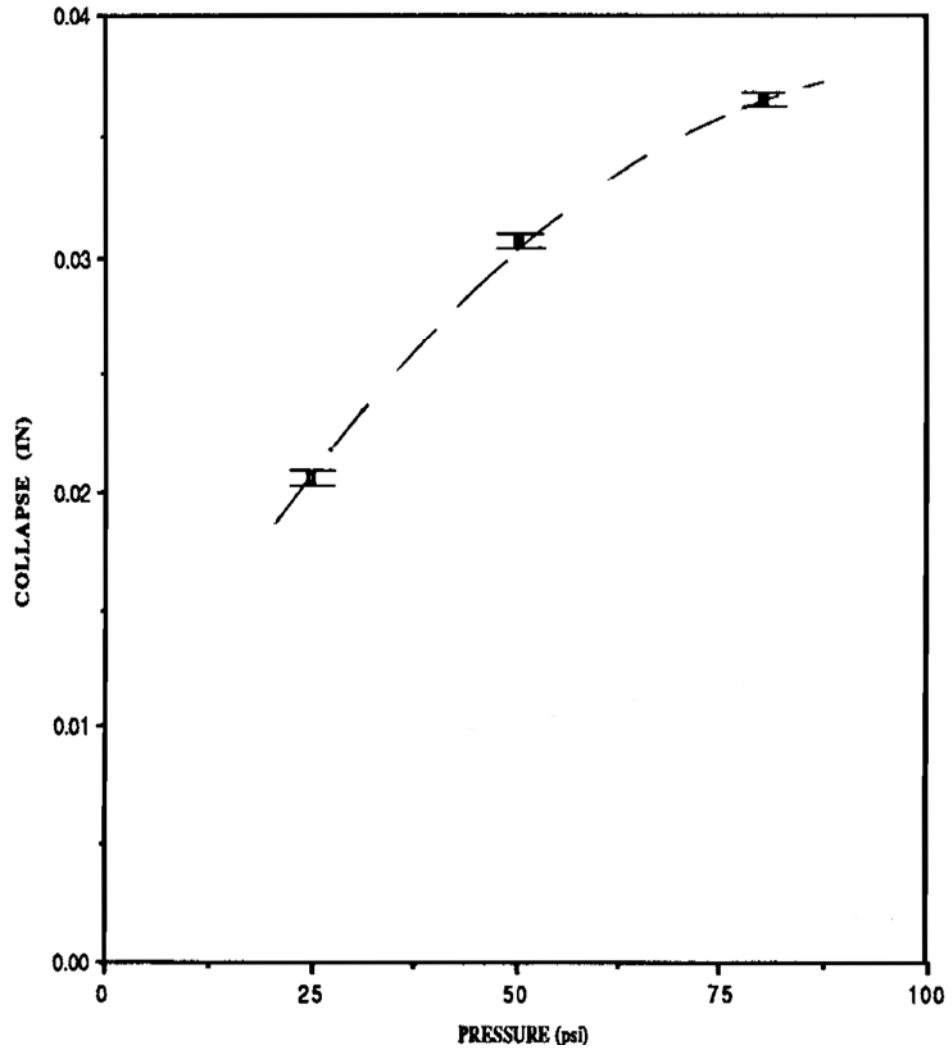
Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης για τα 4 θερμοπλαστικά, για τα οποία είπαμε προηγουμένως φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



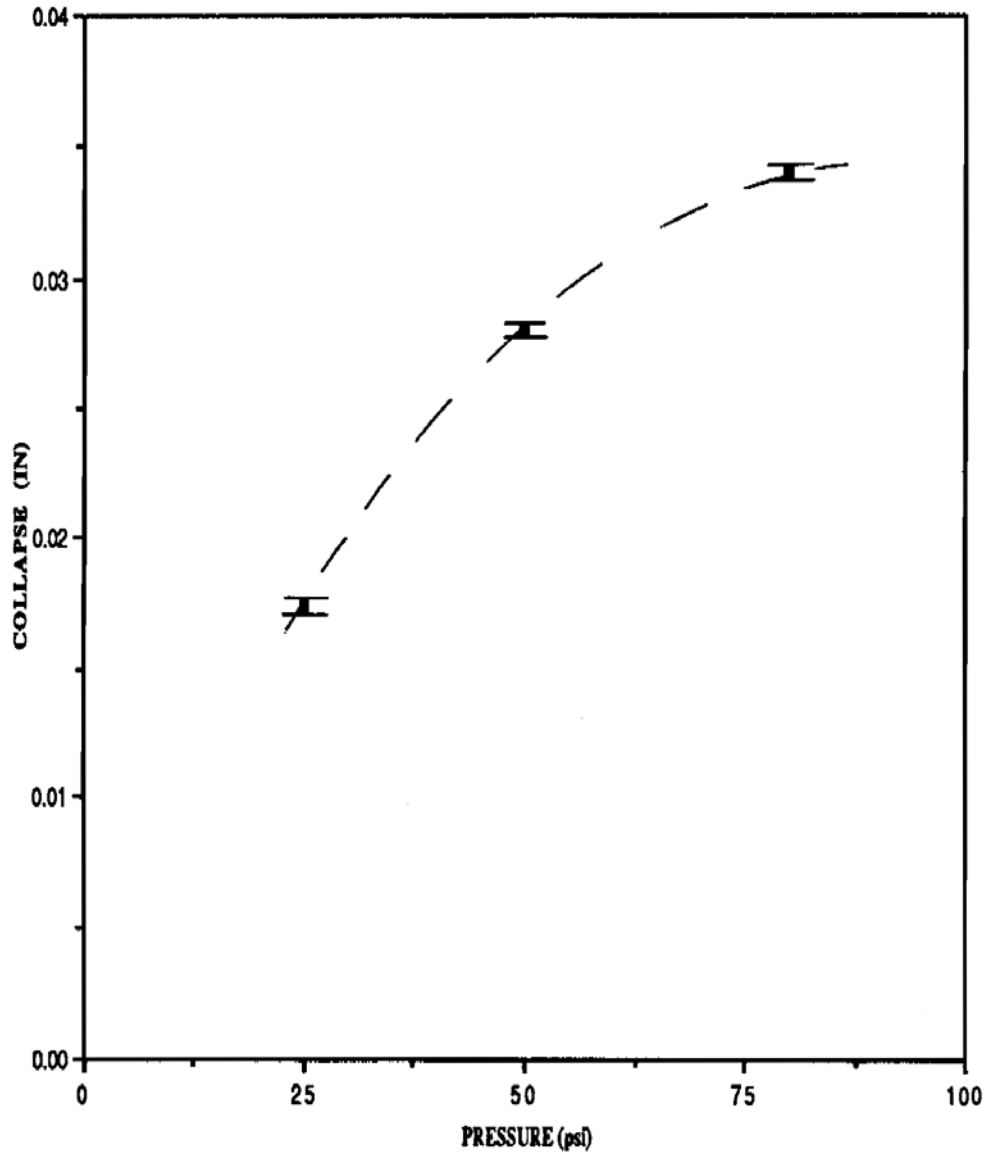
Διάγραμμα 1: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (ABS)



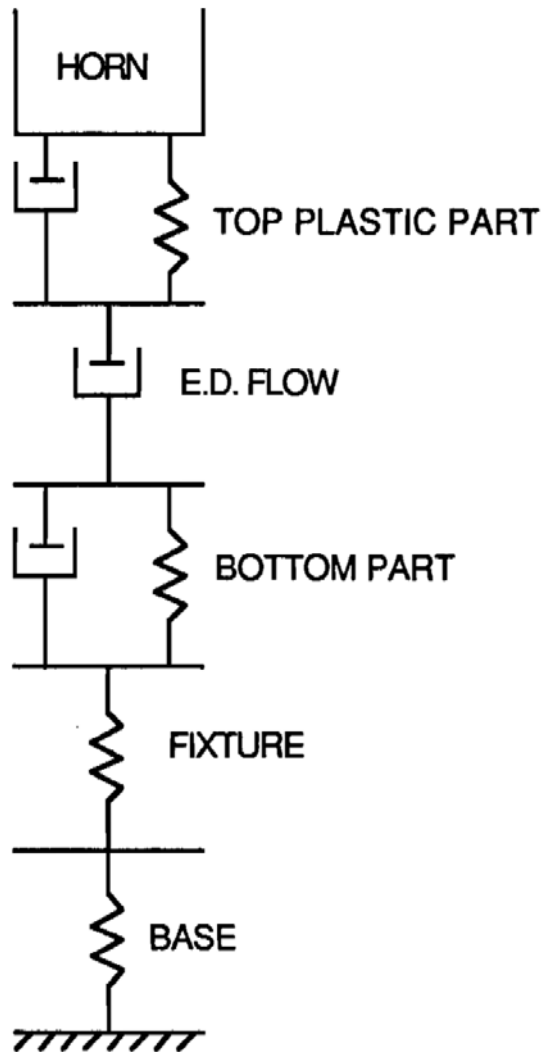
Διάγραμμα 2: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PS)



Διάγραμμα 3: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PE)



Διάγραμμα 4: Η Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (PP)



Σχήμα 30: Πρότυπο (συσσωρευμένους-παραμέτρους) για ένα μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους

Μπορούμε να δούμε ότι καθώς η πίεση αυξάνεται, αυξάνεται και η κατάρρευση επίσης. Κατά τη διάρκεια της ένωσης τα σώματα προς συγκόλληση και ακόμη την ένωση συμπεριφέρονται ως ένα ελατήριο που συμπιέζεται. Το (σχήμα 30) δείχνει ένα πρότυπο σωρευμένο-παραμέτρους για ένα μηχάνημα συγκόλλησης με υπέρηχους. Τα αδρανή αποτελέσματα έχουν παραμεληθεί εδώ για ευκολία. Το κορυφαίο πλαστικό μέρος, το προσάρτημα, και η βάση συμπιέζονται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Όλα αυτοί συμβάλλουν στην κατάρρευση, όπως μετριέται από την μηχανή συγκόλλησης με

υπέρηχους. Ο υπολογισμός χάσματος στη μηχανή συγκόλλησης γίνεται μόνο για την ροή υλικού του ενεργειακού κατευθυντή. Για τα πραγματικά πολυμερή σώματα, η ροή είναι μη νευτωνική, το οποίο και θα φταίει για τις μερικές αποκλίσεις. Εντούτοις ο υπολογισμός μας επιτρέπει να προβλέψουμε μια τάση για την κατάρρευση.

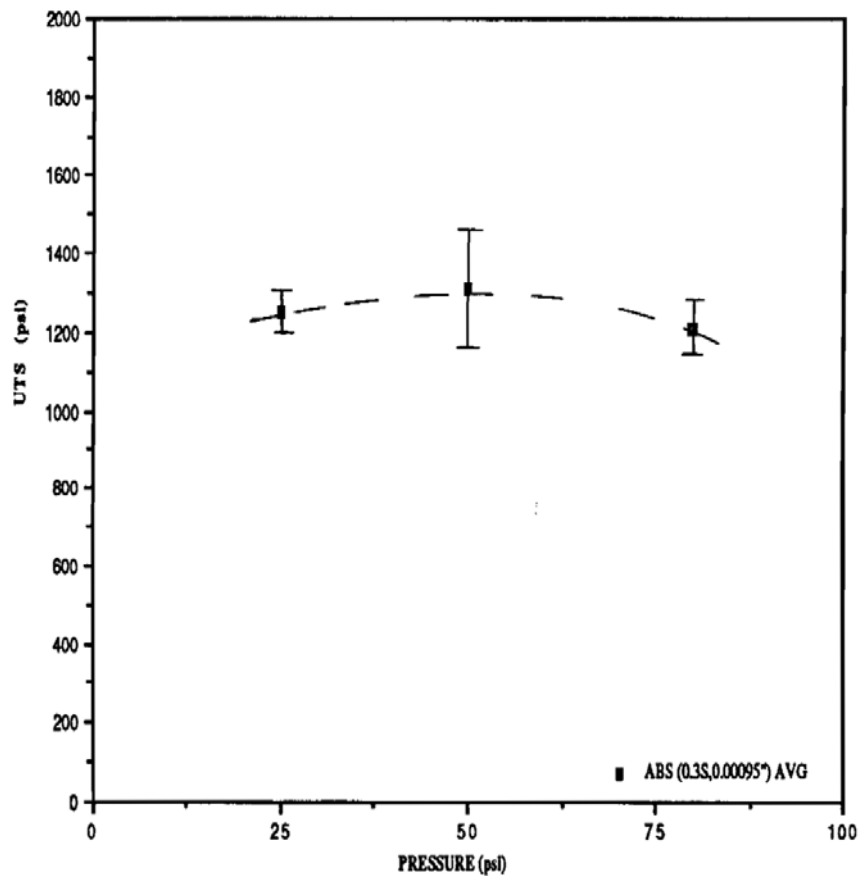
Τα ABS και PS έδειξαν μια κατάρρευση των 0.06” (0.15 cm) στα 80 psi πίεση συγκόλλησης, και 0.3 s χρόνο συγκόλλησης. Από την άλλη για τα PE και PP έδειξαν μια κατάρρευση μόνο των 0.035” (0.089 cm). Το ιξώδες είναι έντονα εξαρτημένο από τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία πρέπει να υπερβεί τη θερμοκρασία τήξης, T_m , για τα ημικρυστάλλινα θερμοπλαστικά, για να πέσει το ιξώδες και να αρχίζει ροή. Επομένως τον περισσότερο χρόνο της συγκόλλησης ίσως χρησιμοποιήθηκε για να φθάσει στην τήξη και έτσι λιγότερος χρόνος ήταν διαθέσιμος για τη ροή πριν από το στερεοποίηση της. Αυτό μπορεί να εξηγήσει τις χαμηλές καταρρεύσεις που παρατηρήθηκαν. Τα άμορφα θερμοπλαστικά, αρχίζουν να ρέουν γύρω από τη θερμοκρασία υαλώδης μετάβασης τους, T_g , η οποία είναι μικρότερη της T_m , και ως εκ τούτου εκθέτουν μια μεγαλύτερη κατάρρευση.

6.11.2 Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης

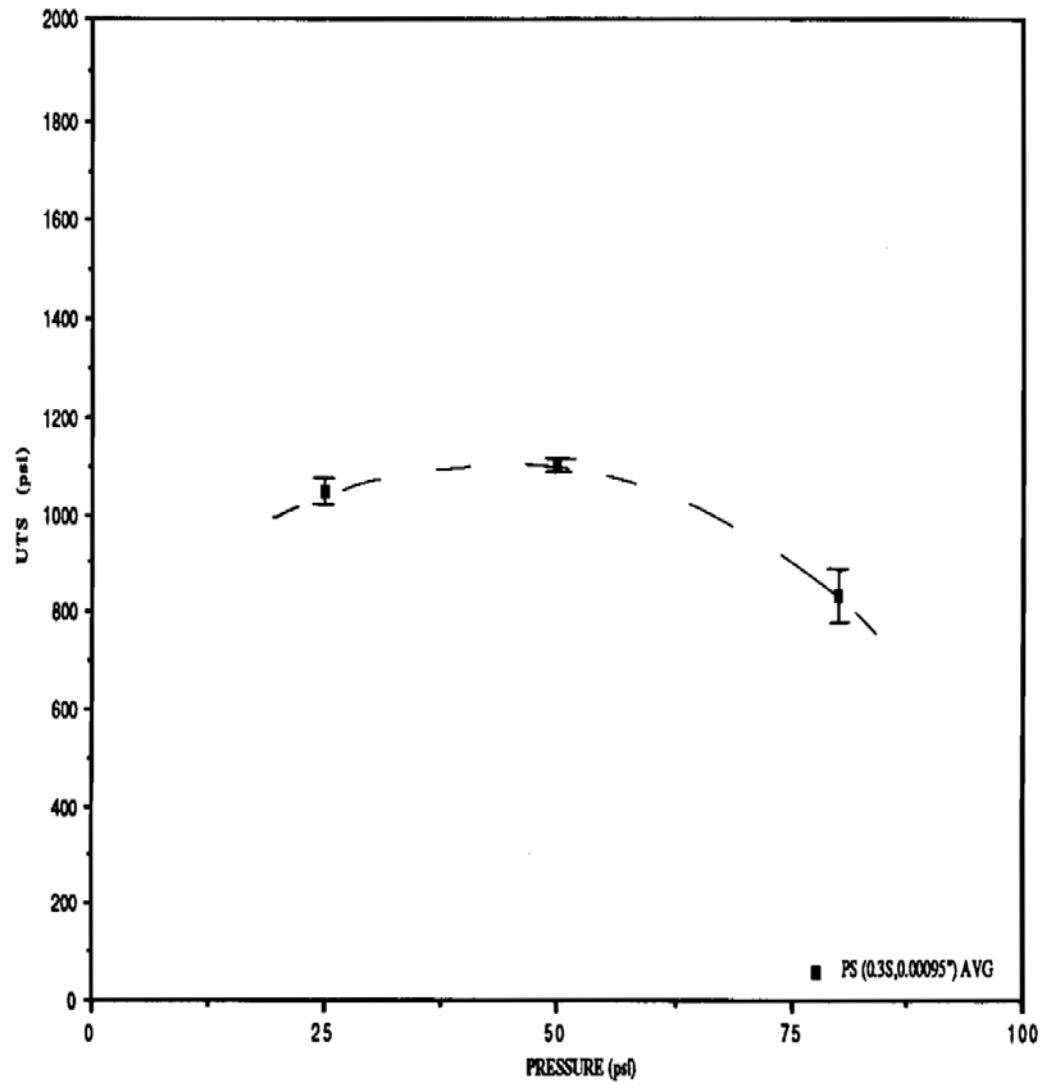
Η επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην δύναμη της ένωσης συσχετίζεται πάλι πολύ με τη ροή του πολυμερούς σώματος. Τα σχήματα (5 ως 8) παρακάτω μας δείχνουν πως η αύξηση της πίεσης συγκόλλησης δεν έχει καμία σημαντική επίδραση στη δύναμη. Υπάρχουν περιορισμοί στην πίεση συγκόλλησης που κάποιος μπορεί να εφαρμόσει. Η πάρα πολύ χαμηλή πίεση συγκόλλησης θα μείωνε την κατάρρευση και ως εκ τούτου η περιοχή επαφών θα μειωνόταν. Εάν η περιοχή επαφών είναι μικρή, αυτό σημαίνει ότι το χάσμα είναι μεγάλο. Αυτό θα μείωνε τη δύναμη που απαιτείται για να σπάσει το δεσμό μεταξύ των στοιχείων που συγκολλήθηκαν. Εάν η εφαρμοσμένη πίεση ήταν πάρα πολύ υψηλή, κατόπιν μια μεγάλη μερίδα του λιωμένου πολυμερούς σώματος θα έρεε εκτός της ζώνης συγκόλλησης αφήνοντας ένα λεπτό στρώμα λιωμένο υλικό το οποίο όμως θα έχει καλύψει όλες τις επιφάνειες επαφής. Αυτό θα έδινε καλές ιδιότητες στην κατεύθυνση της ροής, αλλά μικρή αντοχή σε δυνάμεις και καταπονήσεις που δέχεται η ένωση στη αντίθετη κατεύθυνση της ροής. Κατά συνέπεια, μπορεί να φανεί γιατί η δύναμη δεν

αυξήθηκε με την αυξανόμενη πίεση συγκόλλησης. Σύμφωνα με δημοσιευμένα αποτελέσματα από τον Backnell [38] οι μέγιστες δυνάμεις που άντεξαν τα 4 θερμοπλαστικά μετά από μια συγκόλληση με υπερήχους διάρκειας 0.3s και εύρος συχνοτήτων 0.00095'' είναι: ABS (1300 psi), PS (1100 psi), PE(230 psi), και PP (500 psi).

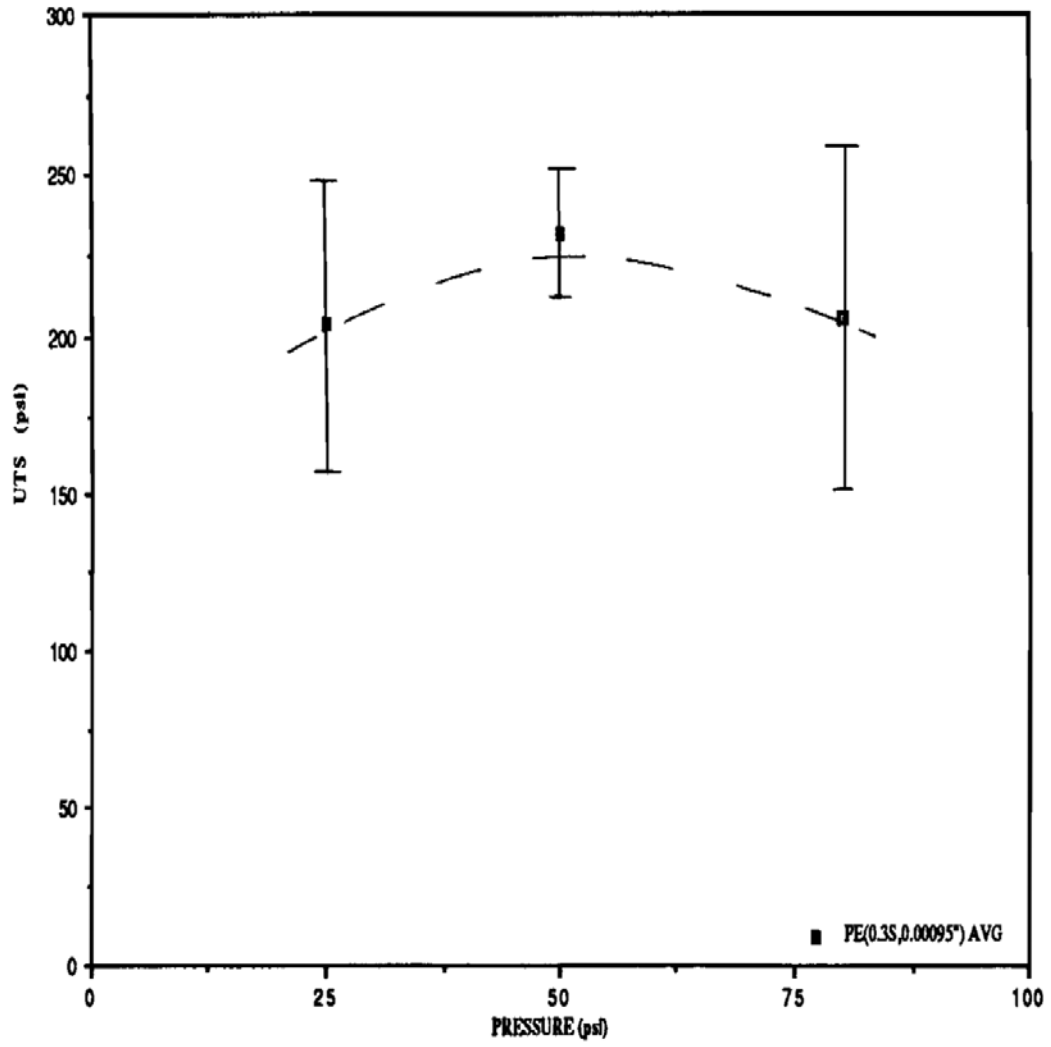
Τα ABS και PS, τα όποια είναι άμορφα πλαστικά, ξεκινούν να ρέουν με το που φτάσουν την θερμοκρασία T_g , τα PE και PP, που είναι ήμι-κρυστάλλινα θερμοπλαστικά ξεκινούν να ρέουν μόνο όταν θερμαίνονται και η θερμοκρασία τους φτάνει την T_m , η όποια είναι πάντα μεγαλύτερη της T_g . Ο συνδυασμός της μεγάλης πίεσης συγκόλλησης με το μικρό χρόνο συγκόλλησης που χρησιμοποίησε ο Zhang [42] μπορούν να είχαν για αποτέλεσμα στο ελάχιστο λιώσιμο του πολυήμερου σώματος το οποίο με την μεγάλη πίεση που ασκήθηκε έρεε εκτός της ζώνης συγκόλλησης και άφησε πίσω μόνο ένα λεπτό στρώμα λιωμένο υλικό το οποίο εξηγεί την αδυναμία της ένωσης που δημιουργήθηκε.



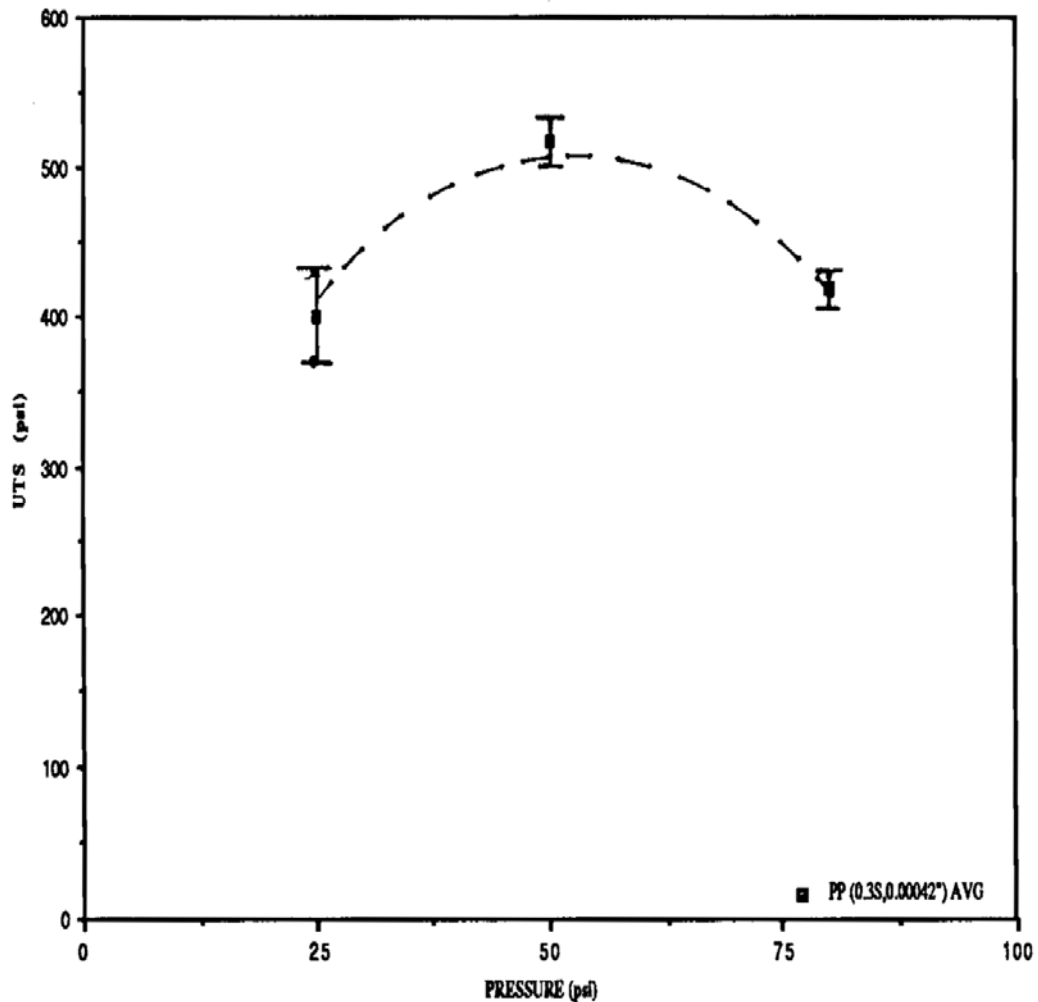
Διάγραμμα 5: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (ABS)



Διάγραμμα 6: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PS)



Διάγραμμα 7: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PE)



Διάγραμμα 8: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης για θερμοπλαστικό (PP)

6.11.3 Η επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη

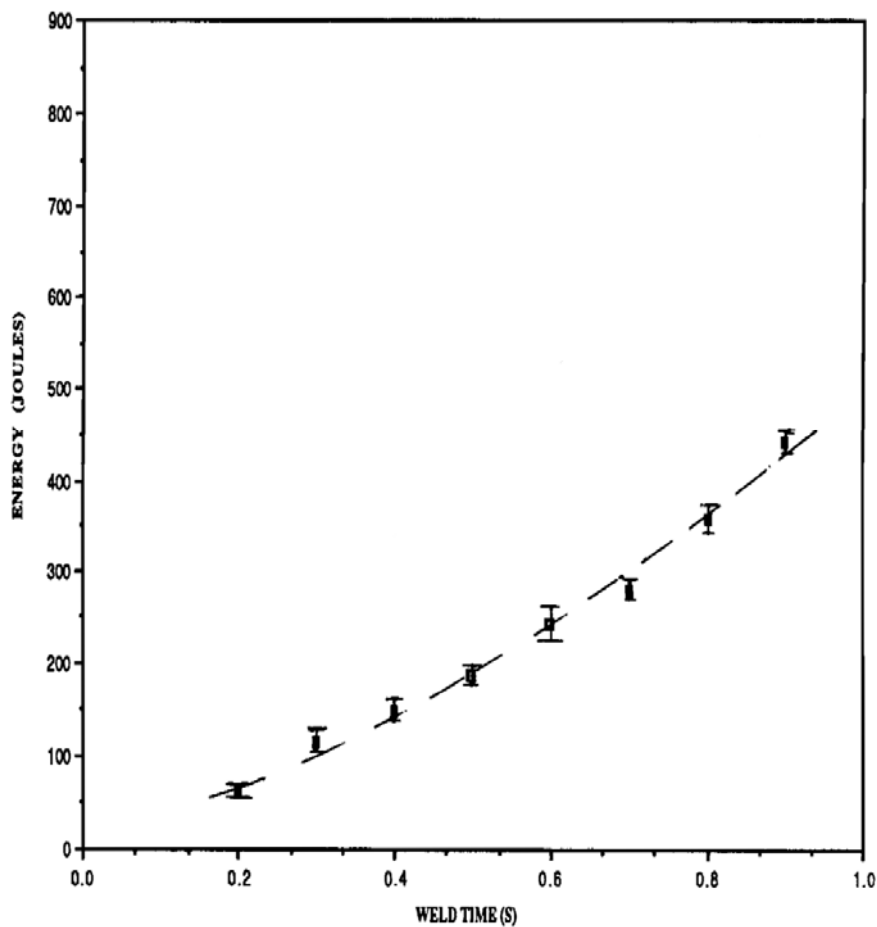
Ο χρόνος συγκόλλησης είναι ο χρόνος για τον οποίο το υπερηχητικό μηχάνημα λειτουργεί και οι υπερηχητικές δονήσεις εφαρμόζονται. Είναι κατά τη διάρκεια εκείνο το χρόνο που το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας διασκορπίζεται μες το πλαστικό.

Στους μικρούς χρόνους συγκόλλησης όπως για παράδειγμα 0.3s είδαμε πως τα ABS τα PS έδειξαν μεγαλύτερο διασκορπισμό από τα PE και PP. Όμως, ο διασκορπισμός για

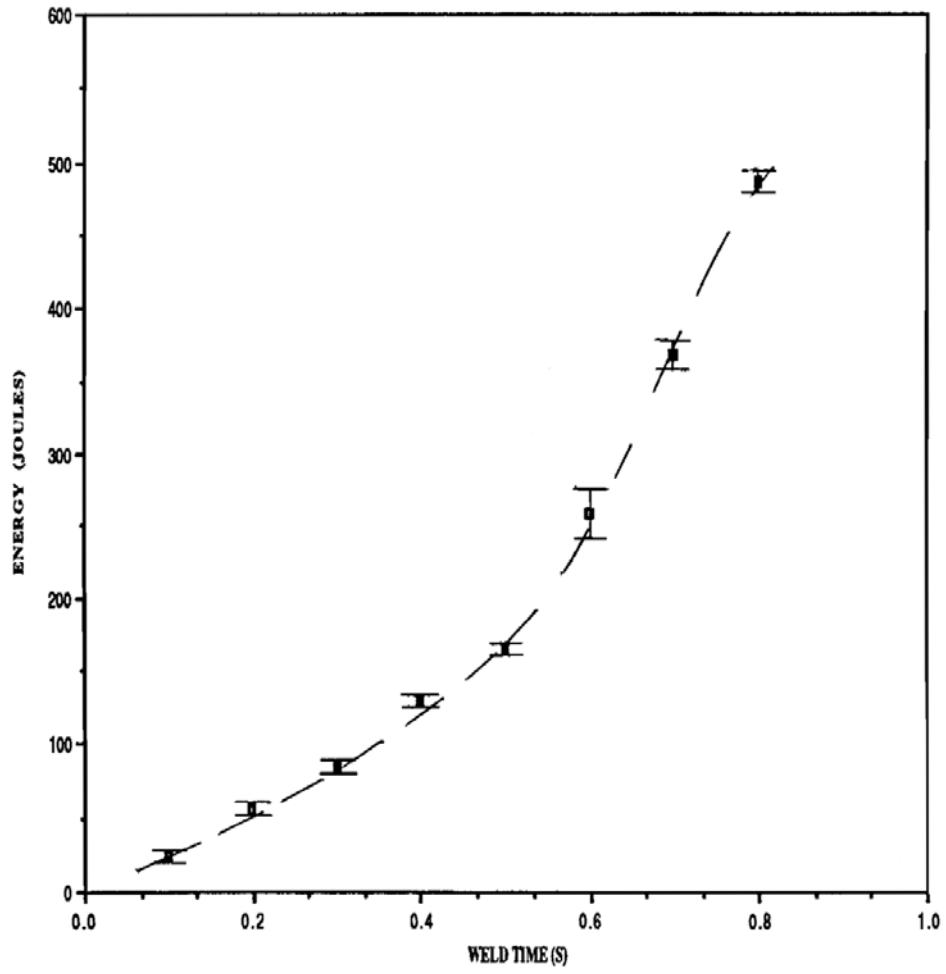
τα PE και PP αυξάνετε πιο γρήγορα από ότι αυξάνετε για τα ABS και PS με την αύξηση του χρόνου συγκόλλησης. Για μεγαλύτερους χρόνους συγκόλλησης τα PE και PP διασκορπίζουν περισσότερη και μεγαλύτερη ενέργεια από τα ABS και PS.

Τα διαγράμματα (9 ως 12) δείχνουν πως η διασκορπιζόμενη ενέργεια αυξάνει με την αύξηση του χρόνου συγκόλλησης.

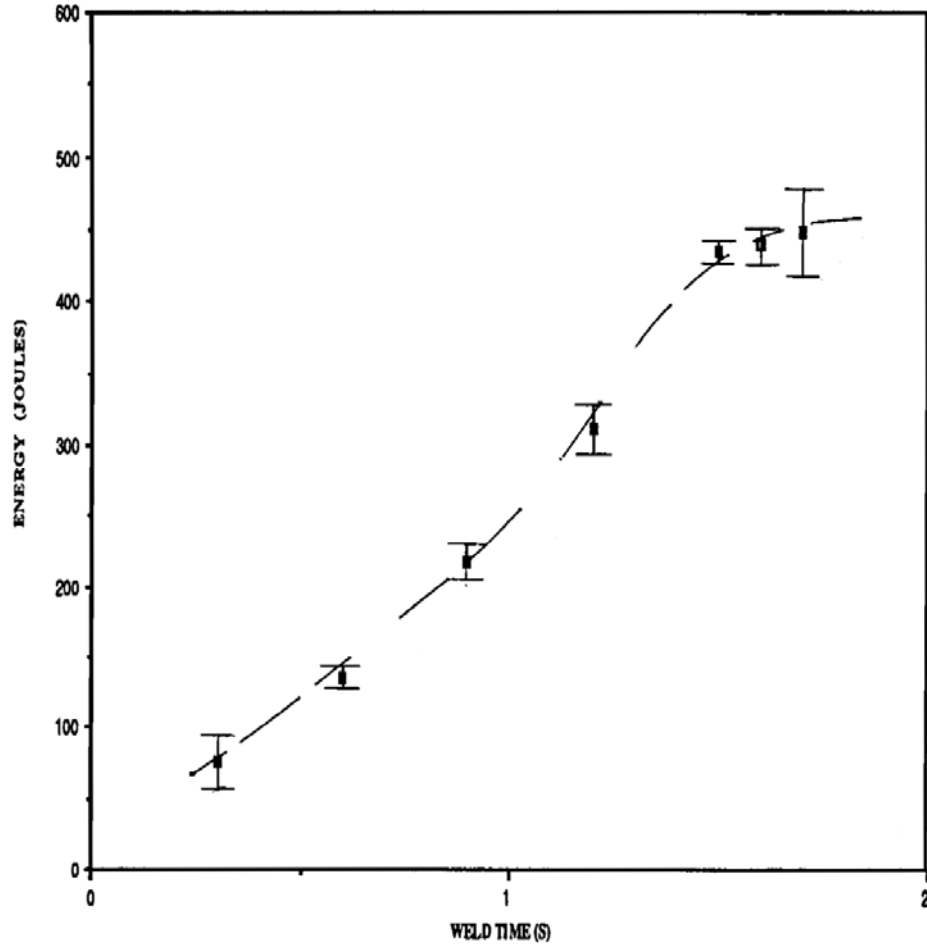
Τα διαγράμματα (13) δείχνουν το σχετικό μέγιστο E' στη T_g , και T_m , για τα ήμικρυστάλλινα πολυήμερα σώματα (PE και PP). Μπορούμε να δούμε επίσης πως E'' δείχνει μια μεγάλη άνοδο, στη T_m , η οποία εξηγεί γιατί ο ενεργειακός διασκορπισμός ήταν μεγαλύτερος από αυτόν των άμορφων θερμοπλαστικών στους μεγαλύτερους χρόνους συγκόλλησης.



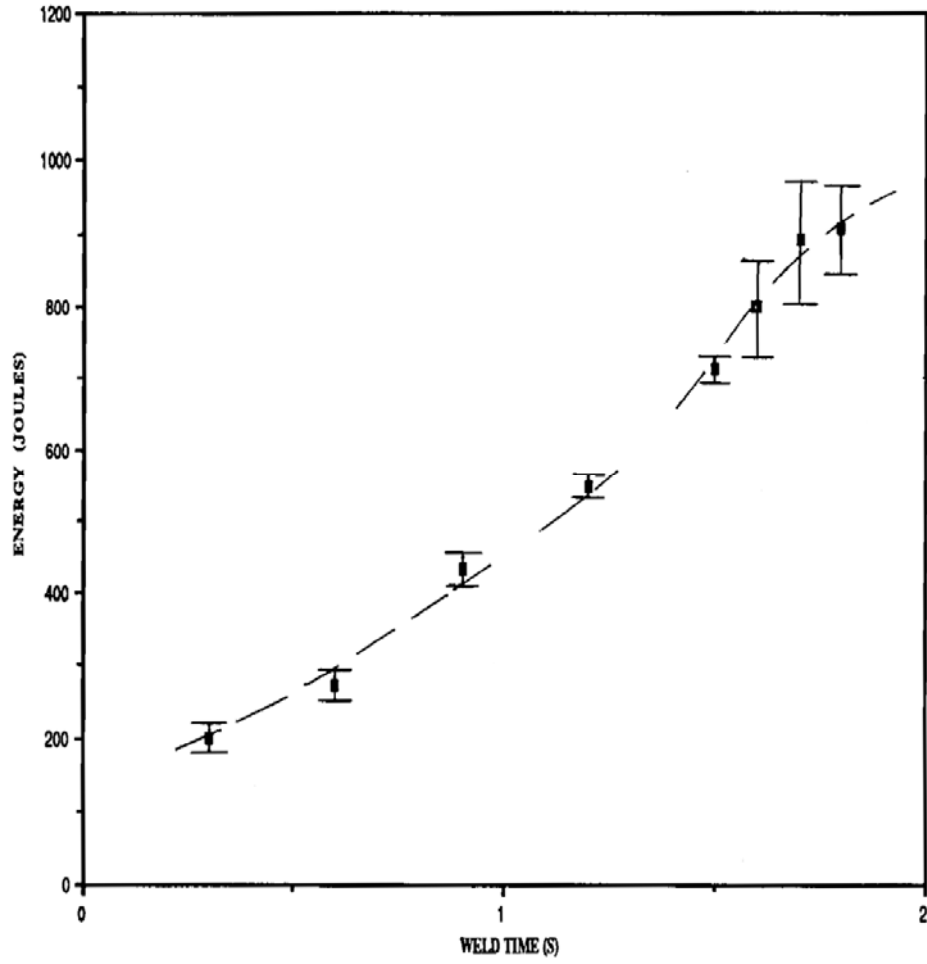
Διάγραμμα 9: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (ABS)



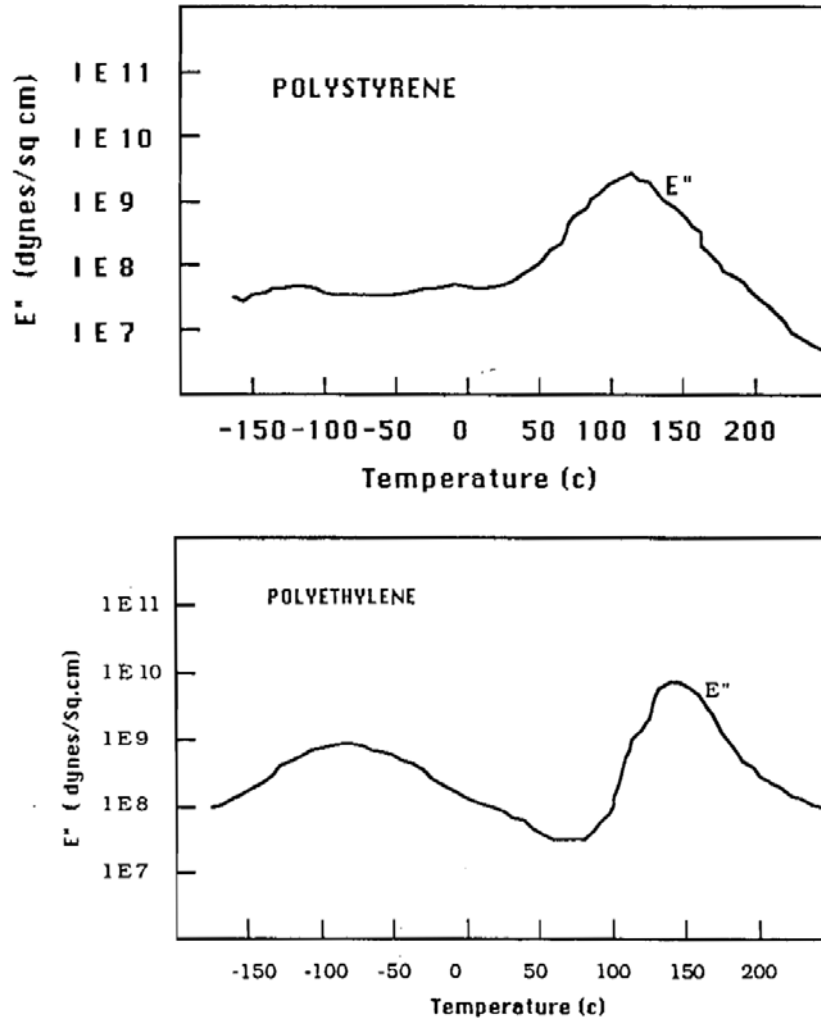
Διάγραμμα 10: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PS)



Διάγραμμα 11: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PE)



Διάγραμμα 12: Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στην ενέργεια και τη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PP)



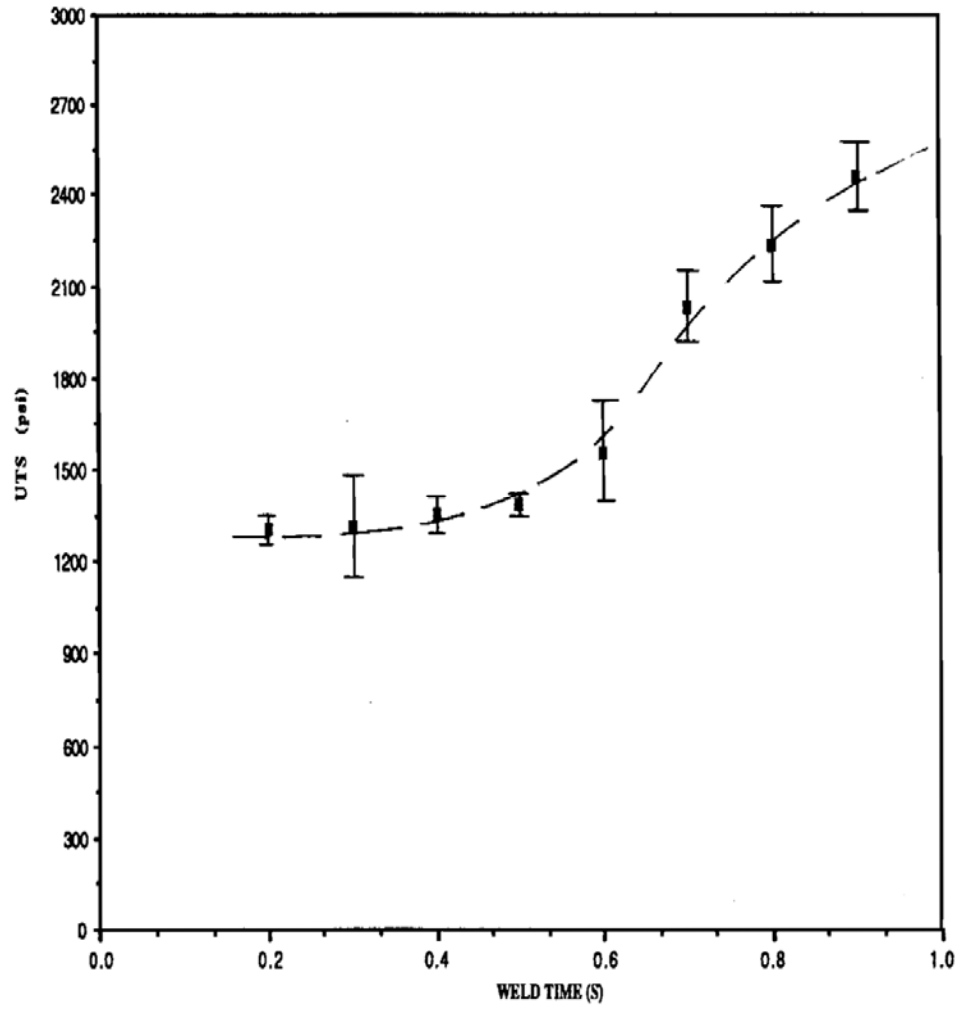
Διάγραμμα 13: Επίδραση της πίεσης συγκόλλησης στην κατάρρευση (ABS)

Ο Aloisio [18] βρήκε ότι, όταν το ενεργειακό διασκορπισμένο ποσό μες το πλαστικό αυξάνει, η θερμοκρασία αυξάνει με την σειρά της, και αναγκάζει τον ενεργειακό κατευθυντή να λειώσει, μετά από την πτώση που θα επιφέρει στον ιξώδες του. Μέτα το λιωμένο πολυήμερο ξεκινάει να ρέει και με το που ξεκινάει η ροή, το ποσοστό του ενεργειακού διασκορπισμού μειώνεται και η θερμοκρασία της διεπαφής ξεκινάει να πέρφτει σιγά σιγά ακόμα κι αν το κέρασ μπορεί ακόμα να συνεχίσει να δονείται.

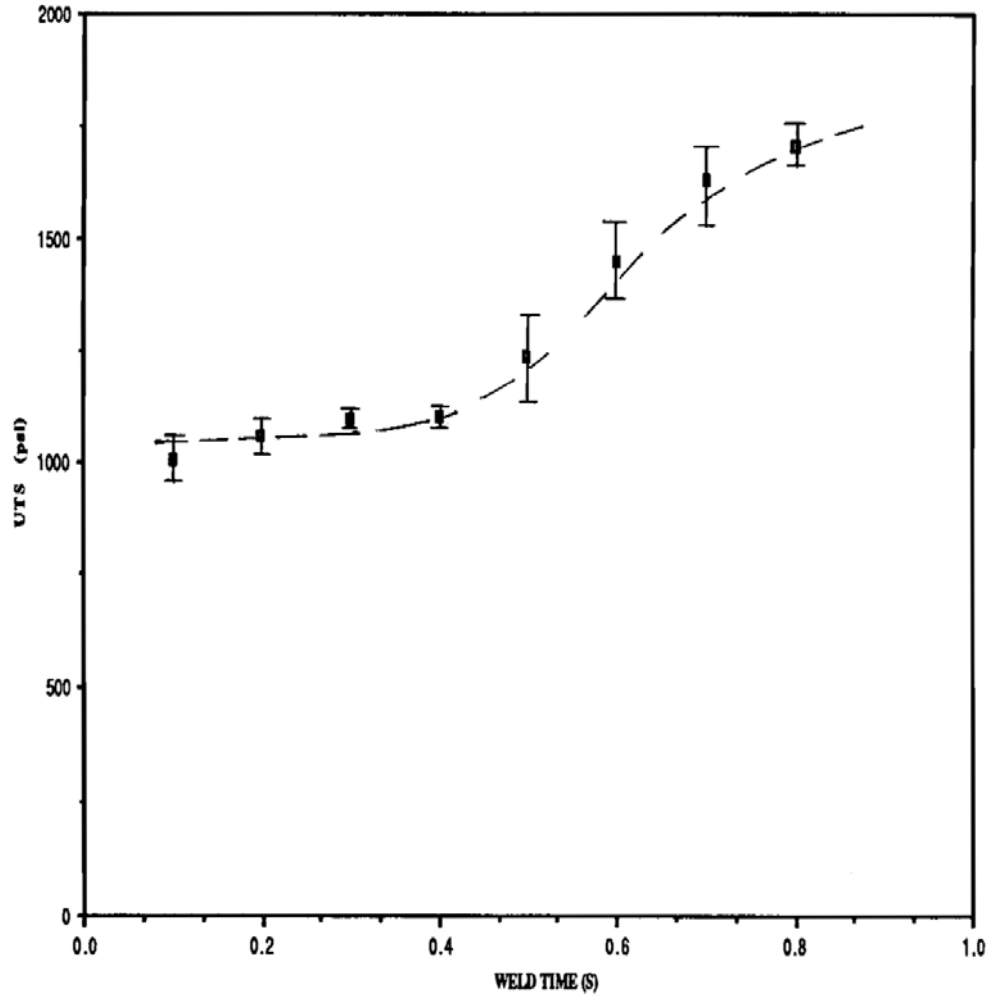
Η πτώση του ενεργειακού διασκορπισμού δεν ήταν δυνατή να την παρατηρήσουμε για τα ABS και PS επειδή ο υπερηχητικός συγκολλητής υπερφορτώνεται πέρα των 0.8s.

Λόγω της υπερβολικής τήξης του πολυμερούς σώματος στη διεπαφή, συνδυασμένο με τη ροή υπό πίεσης του πολυμερούς, το κέρασ της συγκόλλησης ήρθε σε επαφή με το προσάρτημα, γεγονός που υπερφόρτωνε την μηχανή συγκόλλησης με υπερήχους. Μια διαφορετική και ειδική ένωση με διαφορετικό σχεδιασμό θα μπορούσε να βοηθήσει στη μελέτη της επίδρασης ενός μεγαλύτερου χρόνου συγκόλλησης γι' αυτά τα θερμοπλαστικά. Ο διασκορπισμός της ενέργειας στα PE και PP σταματάει την άνοδο του μετά από περίπου 1.5 s, αλλά καμία πτώση δεν παρατηρήθηκε στους χρόνους συγκόλλησης που είναι από 2 s και πάνω.

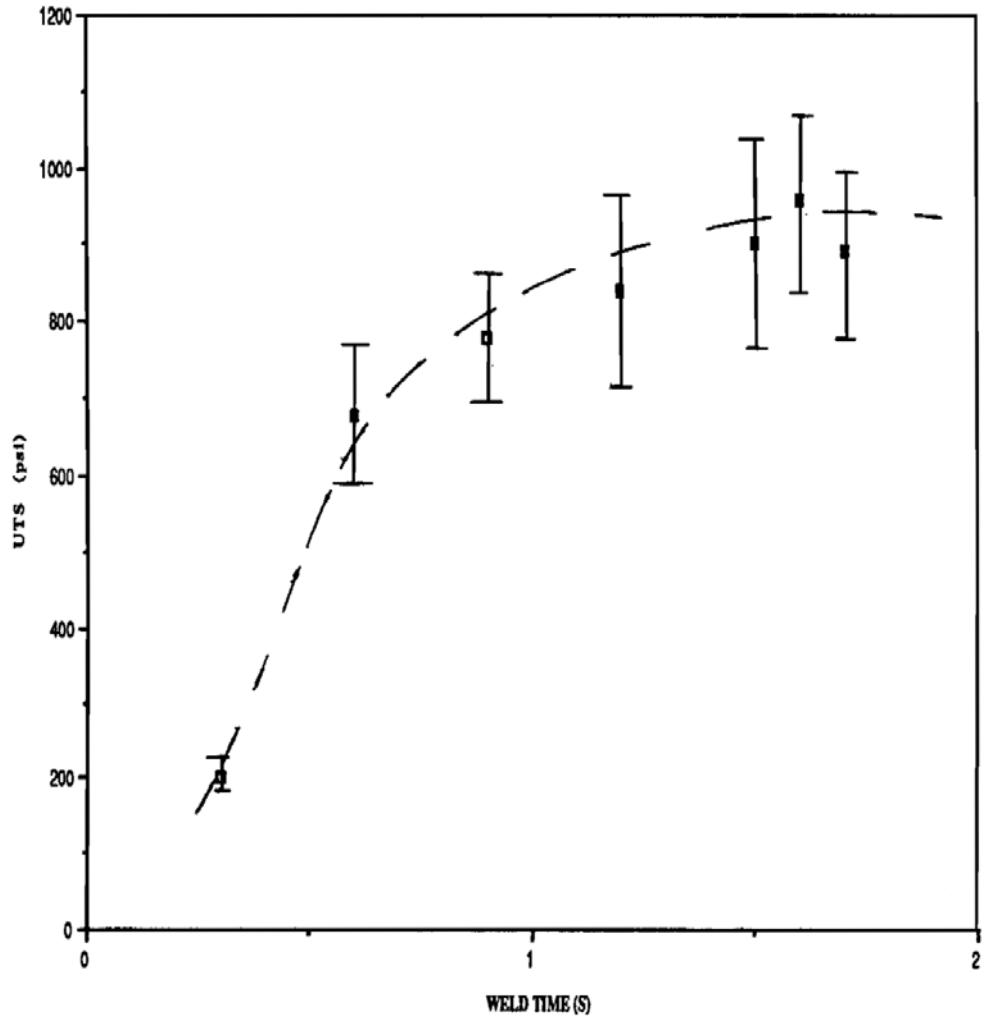
Τα διαγράμματα (14 ως 17) δείχνουν την επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη της ένωσης που δημιουργήθηκε. Βλέπουμε ότι η δύναμη αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου συγκόλλησης για τα ABS και PS, και συγκεκριμένα αυξάνεται μετά από 1.5 s στη περίπτωση των PE and PP. Αυτό ήταν παρόμοιο με τα αποτελέσματα που έδειξαν οι καμπύλες στα διάγραμμα (9 ως 12). Μπορούμε να πούμε ότι η δύναμη βελτιώνεται με τον αυξανόμενο ενεργειακό διασκορπισμό. Όπως το αναφέραμε και πριν, όταν το ποσό της διασκορπισμένης ενέργειας αυξάνει, ανεβαίνει η θερμοκρασία και ο ενεργειακός κατευθυντής λιώνει. Αυτό δεν βελτιώνει μόνο την ροή του υλικό και την κάλυψη των επιφανειών με το λιωμένο πολυμερο. Επίσης, οι ψηλές θερμοκρασίες βοηθούν και βελτιώνουν την διαμοριακή διάχυση. Αυτή η διάχυση των μακρών πολυμερών αλυσίδων στη ένωση της διεπαφής [15] και η εμπλοκή αυτών των αλυσίδων δίνει στην υπερηχητική συγκόλληση τη δύναμή ης. Για τα άμορφα θερμοπλαστικά, η αναλογία της διάχυσης του χρόνου ροής είναι αρκετά μεγαλύτερη των (~0.1), υπονοώντας ότι και οι δύο είναι σημαντικοί για τη συγκόλληση [28], αν και εξαρτάται πραγματικά από το πόσο πάνω από την θερμοκρασία T_g , το πολυμερο θερμάνθηκε. Αυτή η αναλογία είναι αρκετά μικρή (~0.0001) για τους ήμι-κρυστάλλινους πολυμερούς, υπονοούμενο πως η ροή είναι αυτή που καθορίζει όλη την διαδικασία της συγκόλλησης, αφού ο χρόνος διάχυσης είναι αμελητέος σε θερμοκρασίες ανώτερες από τη θερμοκρασία T_m .



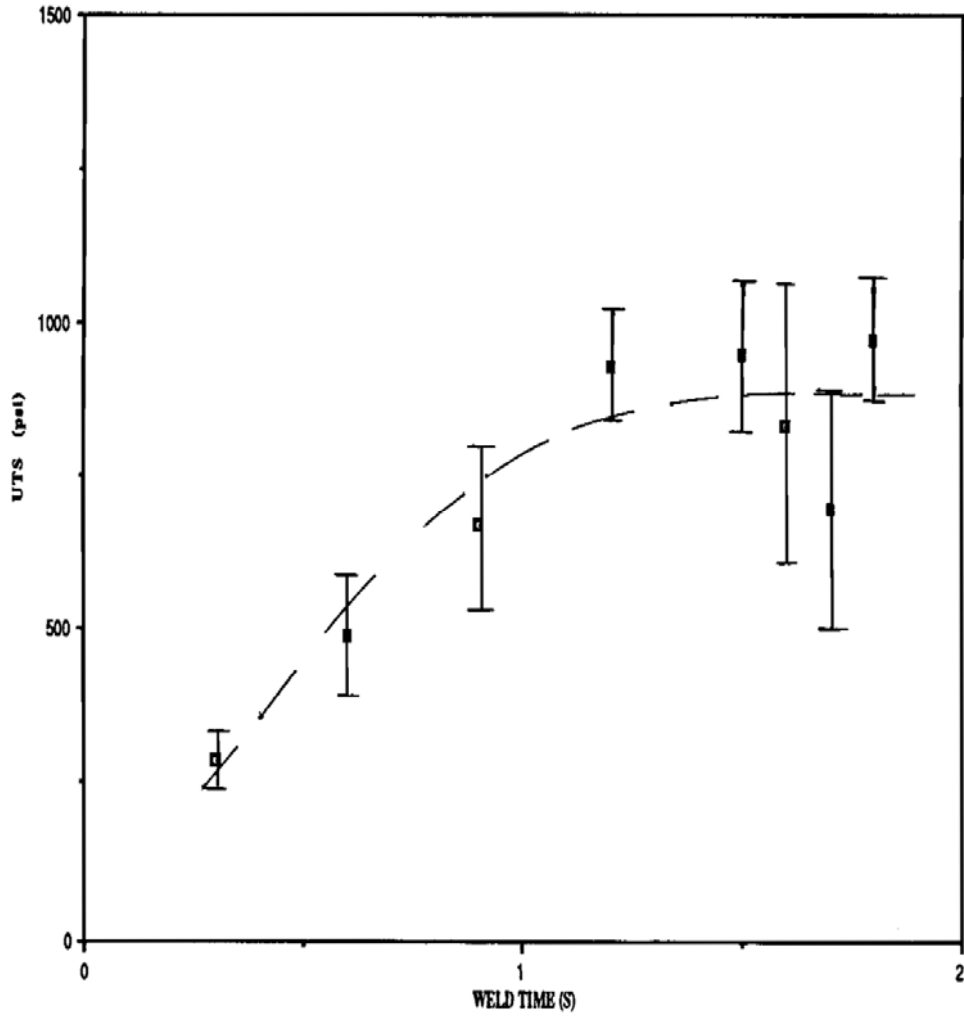
Διάγραμμα 14: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (ABS)



Διάγραμμα 15: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PS)



Διάγραμμα 16: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PE)



Διάγραμμα 17: Η Επίδραση του χρόνου συγκόλλησης στη δύναμη για το θερμοπλαστικό (PP)

6.12. Κατάρρευση και ενέργεια για τον έλεγχο των κλειστών βροχών στην συγκόλληση με υπέρηχους

Όπως αναφέραμε πριν η διασκορπιζόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των κλειστών βροχών στην συγκόλληση με υπέρηχους. Η ενέργεια και η αντοχή ακολουθούν παρόμοιες τάσεις με την αυξανόμενη κατάρρευση. Για τα ABS και PS βρέθηκε πως η αντοχή αυξάνει με την αύξηση του διασκορπισμού ενέργειας μέσα στο θερμοπλαστικό, με τον καλό συσχετισμό μεταξύ των δύο. Εντούτοις η μεγάλη διασπορά στα στοιχεία θα έκανε τον έλεγχο της ενέργειας, που διασκορπίζεται, ένα φτωχό και αδύναμο παράμετρο και καθόλου αξιόπιστο έλεγχο κλειστών βροχών για την αντοχή της συγκόλλησης που δημιουργείται; Μας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες και γενικά είναι αρκετά χρήσιμη.

Η διασκορπιζόμενη ενεργεία για τα ABS και PS αυξάνει μη γραμμικά με την αυξανόμενη κατάρρευση. Ομοίως, η αντοχή αυξάνει μη γραμμικά με την αυξανόμενη κατάρρευση. Παρατηρείται ότι η κατάρρευση έχει λίγη επίδραση έως ότου φτάνει μια κρίσιμη κατάρρευση στα (0.08') για το ABS και (0.07'') για το (PS) που μια μικρή αύξηση στην κατάρρευση αντιστοιχεί σε μια μεγάλη αύξηση στην ενέργεια και την αντοχή.

Για το PE, είναι αρκετά δύσκολο να προβλεφθεί μια τάση σε αυτήν την περίπτωση μεταξύ των καταρρεύσεων. Μια κατάρρευση της 0.05'' διασκορπίζει ενέργεια τάξης 450J και παραγόμενη δύναμη 800psi. Κατά συνέπεια μπορεί να προκύψει ότι και η ενέργεια που απελευθερώνεται και η κατάρρευση έχουν μια ισχυρή σχέση με την αντοχή της ένωσης που θα προκύψει μετά από μια συγκόλληση με υπέρηχους. Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον έλεγχο κλειστών βροχών της ποιότητας συγκόλλησης. Εντούτοις, λόγω της μεγάλης διασποράς στα στοιχεία θα παρείχαν μόνο μια μικρή ιδέα ή άποψη, γι' αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τον απόλυτο έλεγχο δύναμης.

Κεφάλαιο 7: Τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης με υπέρηχους και η συμβατότητα της θερμοπλαστικής

Τα πιο συνήθη χρησιμοποιημένα φορμαρισμένα θερμοπλαστικά μπορούν να συγκολληθούν με την τεχνική συγκόλλησης με υπέρηχους χωρίς την χρήση των διαλυτών, της θερμότητας και τις κόλλες. Η δυνατότητα συγκόλλησης αυτών των υλικών εξαρτάται από τις θερμοκρασίες τήξης τους, το συντελεστή της ελαστικότητας, την αντίσταση αντίκτυπου, το συντελεστή της τριβής, και τη θερμική αγωγιμότητα. Γενικά, όσο πιο άκαμπτο είναι το πλαστικό, τόσο ευκολότερο θα είναι να συγκολληθεί με την χρήση των υπέρηχων. Τα υλικά που έχουν χαμηλό υλικά συντελεστής όπως το πολυαιθυλένιο μπορούν συχνά να συγκολληθούν και να ενωθούν υπό τον όρο ότι το κέρασ πρέπει να τοποθετηθεί κοντά στην περιοχή της ένωσης δηλαδή να συγκολληθούν με την χρήση της κοντής τεχνικής συγκόλλησης τομέων.

Στην πασσάλωση ισχύει, συνήθως, το αντίθετο. Όσο μαλακότερο το πλαστικό, το ευκολότερο είναι στον πάσσαλο. Εντούτοις, τα καλά αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με τα περισσότερα πλαστικά όταν χρησιμοποιείται ο σωστός συνδυασμός εύρους και δύναμης.

Ο πίνακας (5) δείχνει τα σχετικά χαρακτηριστικά δυνατότητας συγκόλλησης για τα πιο κοινά θερμοπλαστικά, και ο πίνακας (6) παρουσιάζει τη συμβατότητα των ανόμοιων υλικών στην συγκόλληση με υπέρηχους.

Στο πίνακα (5) οι χρησιμοποιημένοι κωδικοί είναι : E = excellent (άριστος), G = good (καλός), F = δίκαιος (δίκαιος), p = poor (φτωχός).

Οι δυνάμεις συγκόλλησης είναι βασισμένες στα αποτελέσματα καταστρεπτικής δοκιμής 100+% δείχνουν ότι το υλικό γονέων του πλαστικού σώματος παράμενε άθικτο.

Το κοντινό τομέα της συγκόλλησης με υπέρηχους αναφέρεται σε μια ένωση που η απόσταση από την επιφάνεια πλαστικού μέχρι το κέρασ συγκόλλησης είναι ίσια ή μικρότερη των 6 mm. Το μακρύ τομέα στην υπερηχητική συγκόλληση είναι όταν αυτή η απόσταση είναι μεγαλύτερη των 6 mm.

Κεφάλαιο 7: Τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης με υπέρηχους και η συμβατότητα της θερμοπλαστικής

A = οι αφροί υψηλής πυκνότητας συγκολλούνται το καλύτερο. B = η υγρασία θα εμποδίσει τις συγκολλήσεις. C = απαιτεί μια υψηλή ενέργεια και μια μεγάλη υπερηχητική έκθεση λόγω του χαμηλού συντελεστή της τριβής. D = οι χυτοί βαθμοί είναι δυσκολότεροι να συγκολληθούν λόγω του μοριακού βάρους.

CHARACTERISTICS						
Material	% Weld strength*	Spot weld	Staking and inserting	Swaging	Welding	
					Near field†	Far field†
General-purpose plastics						
ABS	95-100+	E	E	G	E	G
Polystyrene unfilled	95-100+	E	E	F	E	E
Structural foam	90-100a	E	E	F	G	P
Rubber modified	95-100	E	E	G	E	G-P
Glass filled (up to 30%)	95-100+	E	E	F	E	E
SAN	95-100+	E	E	F	E	E
Engineering plastics						
ABS	95-100+	E	E	G	E	G
ABS/polycarbonate alloy (Cycloy 800)	95-100+b	E	E	G	E	G
ABS/PVC alloy (Cycovin)	95-100+	E	E	G	G	F
Acetal	65-70c	G	E	P	G	G
Acrylics	95-100+d	G	E	P	E	G
Acrylic multipolymer (XT-polymer)	95-100	E	E	G	E	G
Acrylic/PVC alloy (Kydex)	95-100+	E	E	G	G	F
ASA	95-100+	E	E	G	E	G
Modified phenylene oxide (Noryl)	95-100+	E	E	F-P	G	E-G
Nylon	90-100+b	E	E	F-P	G	F
Phenoxy	90-100	G	E	G	G	G-F
Polycarbonate	95-100+b	E	E	G-F	E	E
Polyimide	80-90	F	G	P	G	F
Polyphenylene oxide	95-100+	E	G	F-P	G	G-F
Polysulfone	95-100+b	E	E	F	G	G-F
High-volume, low-cost applications						
Butyrates	90-100	G	G-F	G	P	P
Cellulosics	90-100	G	G-F	G	P	P
Polyethylene	90-100	E	E	G	G-P	F-P
Polypropylene	90-100	E	E	G	G-P	F-P
Structural foam	85-100	E	E	F	G	F-P
Vinyls	40-100	G	G-F	G	F-P	F-P

Πίνακας 5: Τα σχετικά χαρακτηριστικά δυνατότητας συγκόλλησης για τα πιο κοινά θερμοπλαστικά

Κεφάλαιο 7: Τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης με υπέρηχους και η συμβατότητα της θερμοπλαστικής

Material	ABS	ABS/POLYCARBONATE ALLOY	ACRYLIC	ACRYLIC MULTIPOLYMER	BUTADIENE-STYRENE	PHENYLENE-OXYDE BASED RESINS	POLYAMIDE-IMIDE	POLYARYLATE	POLYCARBONATE	POLYETHERIMIDE	POLYETHERSULFONE	POLYSTYRENE (GENERAL PURPOSE)	POLYSTYRENE (RUBBER MODIFIED)	POLYSULFONE	PVC (RIGID)	SAN-NAS-ASA	XENOV (PBT/POLYCARBONATE ALLOY)
AMORPHOUS POLYMER																	
ABS	o	o															
ABS/POLYCARBONATE ALLOY		o															
ACRYLIC			o														
ACRYLIC MULTIPOLYMER				o													
BUTADIENE-STYRENE					o												
PHENYLENE-OXYDE BASED RESINS						o											
POLYAMIDE-IMIDE							o										
POLYARYLATE								o									
POLYCARBONATE									o								
POLYETHERIMIDE										o							
POLYETHERSULFONE											o						
POLYSTYRENE (GENERAL PURPOSE)												o					
POLYSTYRENE (RUBBER MODIFIED)													o				
POLYSULFONE														o			
PVC (RIGID)															o		
SAN-NAS-ASA																o	
XENOV (PBT/POLYCARBONATE ALLOY)																	o
SEMI CRYSTALLINE POLYMERS																	
ACETAL																	
CELLULOSICS																	
FLUOROPOLYMERS																	
IONOMER																	
LIQUID CRYSTAL POLYMERS																	
NYLON																	
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE-PET																	
POLYBUTYLENE TEREPHTHALATE-PBT																	o
POLYETHERETHERKETONE-PEEK																	
POLYTHELENE																	
POLYMETHYLPENTENE																	
POLYMETHYLPENTENE																	
POLYPHENYLENE SULFIDE																	
POLYPHENYLENE																	

Πίνακας 6: Η συμβατότητα των ανόμοιων υλικών στην υπερηχητική συγκόλληση

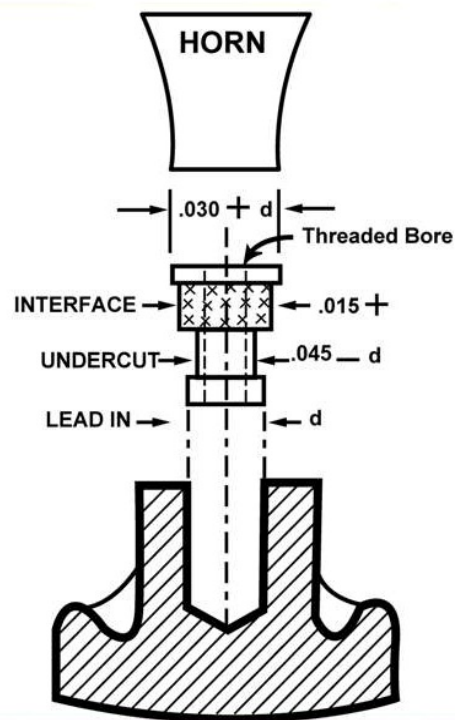
Κεφάλαιο 8: Παρεμβολή και πασσάλωση με την χρήση των υπερήχων

8.1. Η παρεμβολή του μετάλλου στο πλαστικό

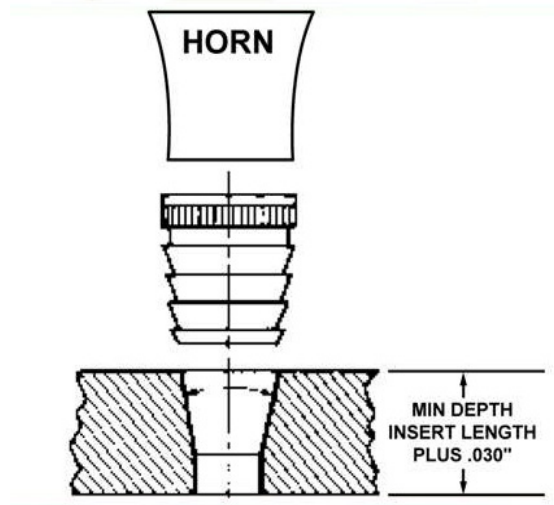
Για την εισαγωγή με χρήση τους υπέρηχους, συνήθως, μια τρύπα προ-φορμάρεται στο πλαστικό η οποία είναι ελαφρώς μικρότερη σε διάμετρο από το ένθετο που θα εισάγεται εκεί μέσα. Μια τέτοια τρύπα παρέχει έναν ορισμένο βαθμό παρέμβαση-τακτοποίησης και καθοδηγεί το ένθετο στη τελική του θέση. Για μια τελική και καλή σύνδεση ή συναρμολόγηση, το μέταλλο που εισάγεται, συνήθως κόβεται, διαμορφώνεται και φινιρίζεται πριν να εισάγεται βεβαία με ένα τρόπο έτσι ώστε να αντισταθεί στα φορτία που επιβάλλονται στην τελειωμένη συναρμολόγηση, καθώς η πίεση εφαρμόζεται.

Οι υπερηχητικές δονήσεις ταξιδεύουν μέσω του οδηγημένου μέρους έως ότου συναντούν την περιοχή ένωσης μεταξύ του μετάλλου και του πλαστικού. Σε αυτήν την ένωση (ή τη διεπαφή) η ενέργεια των υπερηχητικών δονήσεων απελευθερώνεται ως θερμότητα. Η ένταση της θερμότητας που δημιουργείται από τη δόνηση μεταξύ του πλαστικού και του μετάλλου είναι επαρκής και αρκετή για να λιώσει το πλαστικό προς στιγμήν, επιτρέποντας στα ένθετα να οδηγηθούν στη θέση τους. Ο υπερηχητικός χρόνος έκθεσης είναι συνήθως λιγότερος από ένα δευτερόλεπτο, αλλά κατά τη διάρκεια αυτής της συνοπτικής επαφής το πλαστικό μεταρρυθμίζεται γύρω από το ένθετο που εισάγεται και το περιτυλίγει. Μια χαρακτηριστική συναρμολόγηση που αποτελείται από ένα πλαστικό εξόγκωμα αντίκτυπου και ένα ένθετο χάλυβα όπως φαίνεται στο σχήμα 31. Εάν ένα εξόγκωμα αυτού του τύπου χρησιμοποιείται ως συσκευή κλειδώματος, πρέπει να αντισταθεί στην ροπή-φόρτωση, όπως σφίγγεται και κλειδώνει γύρω γύρω από τον ένθετο η ράβδος που εισάγεται. Πρέπει επίσης να αντισταθεί στις αξονικές δυνάμεις ένωσης όπως η πίεση που εφαρμόζεται στις επιφάνειες των πλαστικών και των μεταλλικών ενθέτων. Ο σχεδιασμός και το σχέδιο τρυπών ενθέτων θα διαφέρει και θα ποικίλει με κάθε εφαρμογή, όμως, πάντα ένας ικανοποιητικός όγκος του πλαστικού πρέπει πάντα να μετατοπιστεί για να γεμίσει τα κενά που δημιουργούνται από εισαγωγή του ενθέτου. Μια μικρή υπερβολή του λιωμένου υλικού μπορεί συνήθως να ανεχτεί, ενώ μια μικρή ποσότητα λιωμένου υλικού μπορεί να οδηγήσει σε μια μικρότερη αντοχή ένωσης από αυτή που απαιτείται. Το σχήμα 32 παρουσιάζει τη σχέση των διαστάσεων μεταξύ ενός χαρακτηριστικού ενθέτου και τη

διάμετρος της προ-φορμαρισμένης τρύπας. Για τα εκλεπτυσμένα ένθετα, η τρύπα πρέπει επίσης να εκλεπτυνθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 32. Αυτή η διαμόρφωση επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό θέσης του ενθέτου και μειώνει ταυτόχρονα το χρόνο εγκαταστάσεως. Η επιλογή της επαφής της επιφάνειας πλαστικού ή μετάλλων με το κέρασ συγκόλλησης θα εξαρτηθεί από τη διαμόρφωση του σώματος, και τη δυνατότητα της ένωσης να δεχτεί την απαραίτητη δονητική ένταση.



Σχήμα 31: Η παρεμβολή του μετάλλου στο πλαστικό

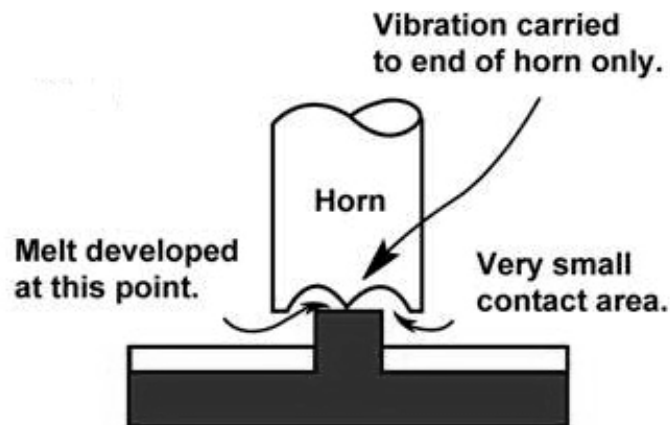


Σχήμα 32: Η σχέση των διαστάσεων μεταξύ ενός χαρακτηριστικού ενθέτου και η διάμετρος της προ-φορμαρισμένης τρύπας

8.2. Η πασσάλωση

Γενικά όπως με την συγκόλληση με υπέρηχους και την παρεμβολή, η πασσάλωση με υπέρηχους υιοθετεί τις ίδιες αρχές στη δημιουργία θερμότητας μέσω της εφαρμογής των υψηλής συχνότητας δονήσεων. Πολλές εφαρμογές πασσαλώσεων περιλαμβάνουν τη σύνδεση και τη ένωση των μετάλλων και των πλαστικών συστατικών.

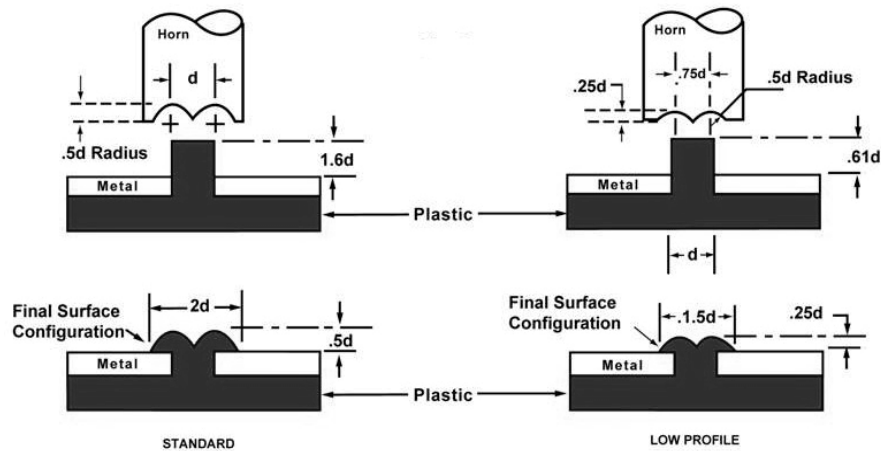
Στην πασσάλωση, μια τρύπα στο μέταλλο λαμβάνει ένα πλαστικό στήριγμα. Η πασσάλωση με υπέρηχους απαιτεί την απελευθέρωση της δονητικής ενέργειας μόνο στην επιφάνεια του πλαστικού στηριγματος. Επομένως, η περιοχή επαφών μεταξύ του κέρατος και του πλαστικού πρέπει να την κρατήσουμε και να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη όπως φαίνεται στο σχήμα 33. Το κέρας συγκόλλησης διαμορφώνεται συνήθως για να καλύψει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής. Με την εισαγωγή των υπερηχητικών δονήσεων, το πλαστικό λιώνει και τις μεταρρυθμίζεται έτσι ώστε να δημιουργήσει ένα κεφάλι κλειδώματος στο μέταλλο.



Σχήμα 33: Η πασσάλωση

Υπάρχουν δύο σχήματα κεφάλων κέρατος συγκόλλησης που θα ικανοποιήσουν την πλειοψηφία των απαιτήσεων των εφαρμογών σχήμα 34. Ο πρώτος, γενικά θεωρημένος τυποποιημένος, παράγει ένα κεφάλι που έχει δύο φορές τη διάμετρο του αρχικού στηριγματος, με το ύψος του να είναι το $\frac{1}{2}$ του διαμέτρου στηριγμάτων. Ο δεύτερος, αναφέρεται ως το κεφάλι χαμηλός-σχεδιαγράμματος, έχει μια επικεφαλής διάμετρο $1 \frac{1}{2}$

φορές τη διάμετρο στηριγμάτων, με ένα επικεφαλής ύψος $\frac{1}{4}$ το μέγεθος του διαμέτρου της επικεφαλής. Επιπλέον, στην πασσάλωση ένα κωνικό στήριγμα είναι η καλύτερη επιλογή που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς. Όταν η εμφάνιση δεν είναι σημαντική, ένα στάνταρ η απλό σχεδιάγραμμα μπορεί να είναι μια άριστη επιλογή.



Head Form	Stud Diam.	Head Diam.	Head Height.	Center-Center Diam.	Stud Height Above Part Before Heading
Standard	d	2d	.5d	d	1.6d
Low Profile	d	1.5d	.25d	1.5d	0.6d

Σχήμα 34: Σχήματα κεφαλών κεράτων. Το τυποποιημένο και το χαμηλό-σχεδιαγράμματος κεφάλι

Αντίθετα από την συγκόλληση με υπέρηχους των πλαστικών, η πασσάλωση με υπέρηχους απαιτεί οι δονήσεις εκτός φάσης (out-of-phase) να παράγονται μεταξύ του κέρατος συγκόλλησης και των πλαστικών επιφανειών. Μια ελαφριά πίεση επαφών απαιτείται αρχικά για τις εκτός φάσης (out-of-phase) δονήσεις όπως στο σχήμα 33. Είναι η προοδευτική τήξη του πλαστικού κάτω από συνεχή, αλλά χαμηλή πίεση που διαμορφώνει το κεφάλι. Η ρύθμιση της βαλβίδας έλεγχου ροής μπορεί να απαιτηθεί κατά την πασσάλωση για να μειώσουμε την πίεση στο επιθυμητό επίπεδο.

8.3. Η επίδραση της αύξησης και μείωσης εύρους στην πασσάλωση και την παρεμβολή μετάλλων

Η επιτυχία της ένωσης και της πασσάλωσης των πλαστικών ή της παρεμβολής του μετάλλου στο πλαστικό εξαρτάται από το κατάλληλο εύρος δονήσεων. Δεδομένου ότι μπορεί να είναι αδύνατο να σχεδιαστεί το σωστό εύρος στο κέρατο κυρίως λόγω της μορφής του, οι ενισχυτές των κεράτων συγκόλλησης είναι απαραίτητοι είτε για την αύξηση είτε για την μείωση του εύρους για να παράγετε τον κατάλληλο βαθμό λιωμένου μετάλλου ή ροής στο πλαστικό μέρος. Η επιλογή του πλαστικού, του σχήματος και η γεωμετρία του στοιχείου προς συγκόλληση, και η φύση της εργασίας για εκτέλεση είναι τα κριτήρια που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σωστή ρύθμιση του εύρους του κέρατος συγκόλλησης.

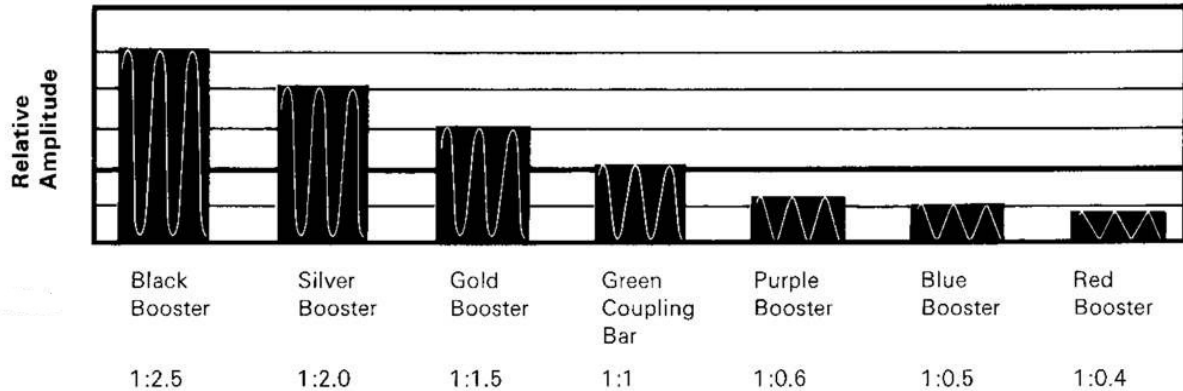
Υπάρχουν έξι ενισχυτές κεράτων που τροποποιούν το εύρος δονήσεις: τρεις για την αύξηση του εύρους και τρεις για το μείωση του. Κάθε κέρας υποβάλλεται σε ανοδική οξείδωση με το κωδικοποιημένο χρώμα. Παρατίθεται ο κατώτερος πίνακας 7 για πιο εύκολο προσδιορισμό.

Amplitude Increasing		Coupling Bar*		Amplitude Decreasing	
Ratio	Color	Ratio	Color	Ratio	Color
1 to 1.5	Gold	1 to 1	Green	1 to .6	Purple
1 to 2.0	Silver			1 to .5	Blue
1 to 2.5	Black			1 to .4	Red

Πίνακας 7: Η κατάταξη των κεράτων συγκόλλησης

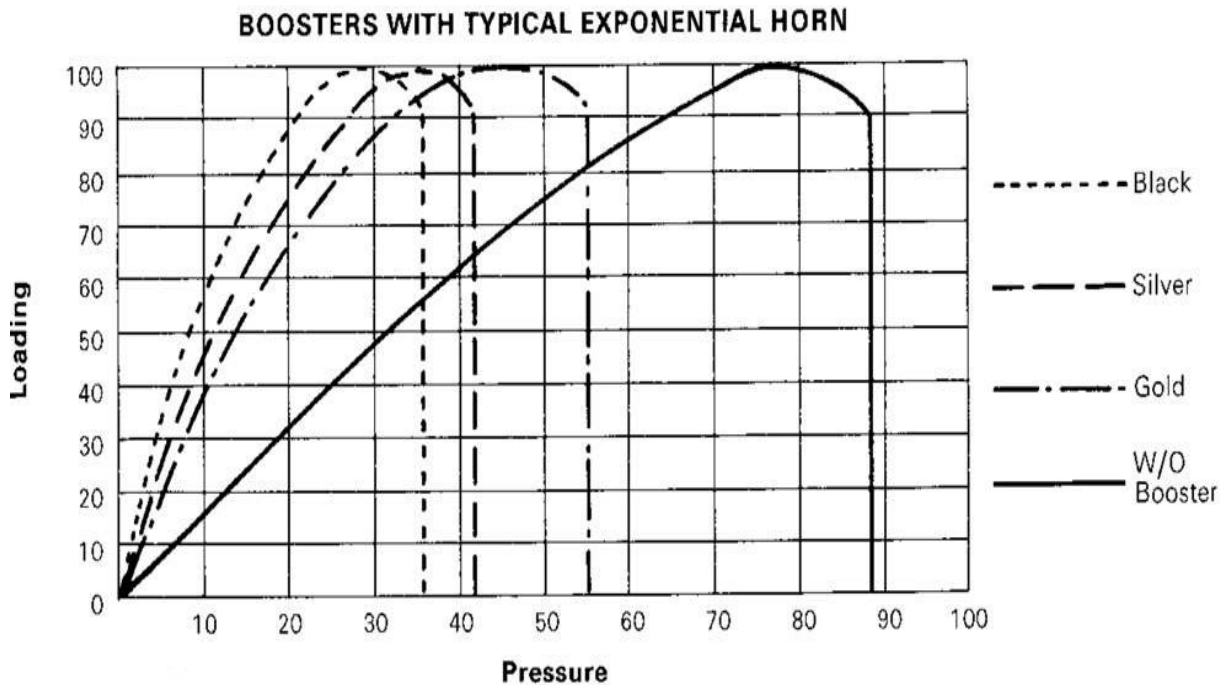
Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε κέρας έχει ένα όριο στο οποίο το εύρος του μπορεί να αυξηθεί χωρίς να δημιουργηθούν ρωγμές και ζημιές επάνω του ή και να προκαλεί το σπάσιμο και την καταστροφή του.

Στο πίνακα 8 που ακολουθεί μια γραφική παράσταση μας δείχνει πώς το εύρος ενός χαρακτηριστικού κέρατος μπορεί να αλλάξει και να διαφέρει με τη χρήση ενισχυτών κεράτων.



Πίνακας 8: Η αλλαγή του εύρος κέρατου με την χρήση ενισχυτών κέρατων

Το παρακάτω διάγραμμα 18 επεξηγεί πώς ένα σύνολο τριών ενισχυτών που αυξάνουν το εύρος δόνησης, μπορεί να αλλάξει την απαιτούμενη πίεση ενός χαρακτηριστικού εκθετικού συνδυασμού παροχής κέρατων και ηλεκτρικού ρεύματος. Με το χαμηλότερο εύρος υπάρχει μια μεγαλύτερη ικανότητα δύναμης. Για το σκοπό της απεικόνισης, ένα κέρας συγκόλλησης υψηλού-εύρους μπορεί να συγκριθεί με την τρίτη ταχύτητα σε ένα αυτοκίνητο που παράγει μια υψηλή ταχύτητα και μια χαμηλή ροπή. Αντιθέτως ένα μικρό ή χαμηλού εύρους κέρατο που μπορεί να συγκριθεί με την πρώτη ταχύτητα σε ένα αυτοκίνητο που παράγει μικρότερη ταχύτητα, αλλά μια υψηλή ροπή, έχει τεράστιες ικανότητες δύναμης και θα δονήσει κάτω από μεγάλα φόρτια. Είναι σχετικά εύκολο να σταματήσουμε "στολάρουμε" ένα υψηλό εύρους κέρας κατά την λειτουργία του σε υψηλούς όρους πίεσης, ακριβώς όπως είναι εύκολο να "στολάρουμε" μια μηχανή αυτοκινήτου ξεκινώντας σε μια απότομη ανηφόρα με την τρίτη ταχύτητα. Κάθε συνδυασμός ενισχυτής-κέρας πρέπει να μελετηθεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί για να έχουμε τη βέλτιστη απόδοση.



Διάγραμμα 18: Η επίδραση της χρήσης κέρατος συγκόλλησης αυξημένου εύρους στην πίεση

Οι όροι στους οποίους προτείνεται η αλλαγή του εύρους δόνησης του κέρατος συγκόλλησης είναι τα κατώτερα:

Αυξάνουμε το εύρος όταν:

1. Υπάρχει δυσκολία να φτάνει η ενέργεια στην ένωση με συνέπεια μια αδύναμη ή αργή συγκόλληση.
2. Η ενέργεια περνά μέσω της ένωσης (μπορούμε να αισθανθούμε την δόνηση στα σταθερά μέρη της μηχανής συγκόλλησης όπως στην βάση)
3. Υπάρχει δυσκολία να έχουμε την κατάλληλη φόρτωση, ή η απαιτούμενη πίεση είναι μεγαλύτερη από ότι αντέχουν τα σώματα προς συγκόλλησης.
4. Όταν αφανίζονται διαφράγματα.

5. Εάν η πασσάλωση ή η τήξη υλικού εμφανίζεται στην βάση και όχι στην επιφάνεια.

Μειώνουμε το εύρος όταν:

- 1) Το σύστημα δεν θα ξεκινήσει ή ξεκάνει με δυσκολία.
- 2) Το σύστημα στολαρει (σταματάει) με τη χαμηλή πίεση.
- 3) Υπερβολική μη ανάγνωση φορτίων εμφανιστεί στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- 4) Μετάβαση από το στερεό στο τρυπημένο κέρασ.
- 5) Τα πλαστικά ή τα μεταλλικά μέρη εμφανίζουν ρωγμές ή σπάνε.
- 6) Μια υπερβολική θερμότητα εμφανίζεται στη περιοχή γύρω από το κέρασ συγκόλλησης.
- 7) Όταν αφανίζονται διαφράγματα.

Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα

Η συγκόλληση με υπέρηχους είναι μια από τις δημοφιλέστερες τεχνικές συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Είναι γρήγορη, οικονομική, αυτοματοποιείται εύκολα, και ευνοεί τη μαζική παραγωγή, με ποσοστά παραγωγής που φτάνουν μέχρι και 60 τεμάχια ανά λεπτό. Παράγει συνεπώς, υψηλής αντοχής ενώσεις με τη χρήση σχετικά πολύ μικρού εξοπλισμού συγκριτικά με τις άλλες τεχνικές συγκόλλησης. Οι χρόνοι συγκόλλησης είναι πιο σύντομοι απ' ό,τι σε οποιαδήποτε μέθοδο συγκόλλησης, και δεν υπάρχει καμία ανάγκη για τα επιμελημένα συστήματα εξαερισμού να αφαιρέσουν καπνό ή θερμότητα. Η διαδικασία είναι ενεργειακά αποδοτική και οδηγεί σε υψηλή παραγωγικότητα με το χαμηλότερο κόστος σε σχέση με πολλές άλλες μεθόδους συγκόλλησης. Τα εργαλεία και ο εξοπλισμός της συγκόλλησης με υπέρηχους λόγω του μικρού όγκου που έχουν μπορούν να αλλάζουν γρήγορα, σε αντίθεση με πολλές άλλες μεθόδους συγκόλλησης, με συνέπεια την αύξηση της ευελιξίας και της μεταβλητότητας. Χρησιμοποιείται συνήθως στη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης επειδή δεν εισάγει τους μολυσματικούς παράγοντες ή τις πηγές υποβάθμισης στη συγκόλληση που μπορεί να έχει επιπτώσεις στη βίο-συμβατότητα της ιατρικής συσκευής.

Ένας περιορισμός της συγκόλλησης με υπέρηχους είναι πως με την τρέχουσα τεχνολογία, μεγάλες ενώσεις (μεγαλύτερες από 250*300mm; 10*12 ίντσες) δεν μπορούν να ενωθούν και να συγκολλούνται σε μια ενιαία φάση. Επιπλέον, για τον καλό σχεδιασμό των ενώσεων ιδιαίτερα για τις λεπτομέρειες της χρειάζεται να ξέρουμε σε κάθε θερμοπλαστικό υλικό και εφαρμογή ποια θα είναι η καλύτερη ένωση που θα χρησιμοποιηθεί για να επιτύχουμε και να έχουμε καλές και δυνατές συγκολλήσεις. Οι υπερηχητικές δονήσεις μπορούν επίσης να βλάψουν τα ηλεκτρικά συστατικά, αν και η χρήση του εξοπλισμού υψηλότερης συχνότητας μπορεί να μειώσει ή και να εξαφανίσει αυτή την πιθανότητα και ύστερα και αυτήν την ζημιά. Επίσης ανάλογα με τα μέρη που θα συγκολληθούν, οι δαπάνες σχεδίασης ενώσεων μπορούν να είναι υψηλές.

Η συγκόλληση με υπέρηχους χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις σημαντικές βιομηχανίες στις οποίες θερμοπλαστικά πλαστικά μορμαίνονται και συγκολλούνται μαζικά. Μερικά παραδείγματα των βιομηχανιών αυτών και των εφαρμογών τους είναι τα εξής:

Αυτοκινητοβιομηχανία: μέρη προβολέων, ταμπλό, κουμπιά και διακόπτες, φίλτρα καυσίμων, φίλτρα υγρών, δοχεία ρευστών, κλειδαριές ζωνών καθισμάτων, ηλεκτρονικά κουμπιά, συναρμολόγηση λαμπτήρων, αεραγωγοί...

Ηλεκτρονική και βιομηχανία συσκευών: διακόπτες, αισθητήρες, USB...

Ιατρική βιομηχανία: φίλτρα, καθετήρες, ιατρικά ενδύματα, μάσκες....

Βιομηχανία συσκευασίας: προστατευτικά πακέτα (με φουσκάλες), σακούλες, σωλήνες, εμπορευματοκιβώτια αποθήκευσης.....

Είδαμε πως και για τα δυο θερμοπλαστικά τα άμορφα και τα ημικρυστάλλινα πλαστικά ήταν δυνατόν να συγκολληθούν χρησιμοποιώντας την τεχνική της υπερηχητικής συγκόλλησης. Είδαμε επίσης ότι τα άμορφα θερμοπλαστικά παίρνουν λιγότερο χρόνο να συγκολλούνται και να ενωθούν από τα ημικρυστάλλινα πλαστικά.

Οι παράμετροι των υλικών, ο συντελεστής αποθήκευσης (E') και ο συντελεστής απώλειας (E'') για τα ABS, PS, PP, και PE χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουμε τον ενεργειακό διασκορπισμό στο πλαστικό κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης με υπέρηχους.

Βρέθηκε επίσης ότι η αύξηση της πίεσης συγκόλλησης δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στη δύναμη συγκόλλησης επειδή το χάσμα είναι μια πολύ αδύνατη λειτουργία της δύναμης.

Για τα άμορφα θερμοπλαστικά, παρατηρήθηκε πως η αύξηση του χρόνου συγκόλλησης βελτιώνει τον ενεργειακό διασκορπισμό καθώς επίσης και τη δύναμη της συγκόλλησης. Για τα ημικρυστάλλινα πλαστικά η αντοχή και ο διασκορπισμός της ανεργίας μες το πλαστικό, κατά την συγκόλληση με υπέρηχους, περνούν μια αύξουσα πορεία από την αρχή της συγκόλλησης μέχρι το πέρασμα 1.5s, μετά από αυτό ξανά πέφτουν. Αυξάνοντας τον χρόνο συγκόλλησης πάνω από 1.5s δεν είχε επιπτώσεις στην βελτίωση της δύναμης και της αντοχής της ένωσης. Δεδομένου ότι η αντοχή συγκόλλησης και ο ενεργειακός διασκορπισμός ακολούθησαν τις παρόμοιες τάσεις με το χρόνο, είχαμε το συμπέρασμα ότι το ποσό ενέργειας που παραδίδεται στο θερμοπλαστικό έχει σημαντική σχέση στη δύναμη συγκόλλησης.

Γενικά, η δύναμη συγκόλλησης, και η ενέργεια που απελευθερώθηκε και διασκορπίστηκε μες το θερμοπλαστικό σώμα, αυξήθηκαν με την αύξηση του εύρους της δόνησης. Αποδείχθηκε ότι η ενέργεια που διασκορπίζόταν και η κατάρρευση παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τον έλεγχο κλειστών βρόχων (closed loop control) στην συγκόλληση με υπέρηχους.

Η εργασία που έγινε εδώ επέτρεψε μια καλύτερη κατανόηση για την διαδικασία της συγκόλλησης με υπέρηχους. Διαπιστώθηκε ότι η συγκόλληση με υπέρηχους στις δυο τεχνικές της, στο κοντινό και μακρινό τομέα της, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την συγκόλληση των άμορφων και κρυστάλλινων θερμοπλαστικών.

Βιβλιογραφία

1. A.M. Joshi, Welding of plastics.
2. Headquarters department of the army, welding and application operator circular, Washington DC, 7 May 1993.
3. Gh. AMZA, Theoretical modeling and characterization of multidegrees of freedom ultrasonic motors for microrobots and micromachine applications, page. 167-175, Editura Tehnică, Bucharest, 2000
4. A. SALEHI, A. TAY, Strain Concentrations Around Embedded Optical Fibers by FEM and Moire Interferometry for advanced Composite Materials, Detroit Michigan, 1991
5. G. AMZA, B.M. Alexandru, T.G. Dan, The optimization of ultrasonic welding process for ultrasonic welding process for termorigide plastic materials, University politehnica Bucharest, Splaiul Independenței no. 313, May 2009.
6. R.A. lindberg and N.R. braton, welding and other joining processes, allyn and bacon, inc., boston, 1976.
7. J.B. Jones, N. Maropis, J.G. Thomas, D. Bancroft, phenomenological considerations in ultrasonic welding, welding journal, July, 1961.
8. J.C. Tucker, Ultrasonic welding of copper to laminate circuit board, Faculty Of the Worcester Polytechnic Institute, May 1, 2002.
9. Welding technology institute of Australia, Ultrasonic welding of plastic used in medical devices, 21 April 2006.
10. B.M. Gero, Acousto-Ultrasonic Evaluation of Cyclic Fatigue of Spot Welded Structures, Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, August 28, 1997Blacksburg, Virginia.

11. G. J. Molina, Y. M. Haddad, Acousto-ultrasonics approach to the Characterization of impact properties of a class of engineering materials, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* **67 (3)** (1996) 307-315.
12. J.C. Duke, D. F. Bray, D. McBride, Acousto-Ultrasonics, , Wiley Interscience, NY, 1992.
13. J.D. Ferry, viscoelastic proprieties of polymers., jhon wiley and sons, inc., NY, 1970.
14. A. Benatar, weldability of thermoplastics proceedings of EWI north American welding research seminar, colombs, ohio, September 29 – October 1, 1987.
15. A. Benatar, ultrasonic welding of advanced thermoplastic composites, PhD thesis, dept. of mechanical engineering, MIT September 1987.
16. A. Shoh, welding of thermoplastics by ultrasound, ultrasonics, September 1976 pp.209-217.
17. I.A. Bekmurzaev, S.S volkov, ultrasonic welding of small-thickness hard plastics, Russian ultrasonics, 9, 1979, pp.108-113.
18. C.J. Aloisio, D.G. Wahl, E.E. Whetsel, a simplified thermoviscoelastic analysis of ultrasonic bounding, spe tech. papers, 1972.
19. B.E. Read, G.D. Dean, the determination of dynamic properties of polymers composites, jhon wiley and sons, inc., new York, NY, 1978.
20. S. Middleman, the flow of high polymers., interscience publishers, NY, 1986
21. X. Wang, J. Yan, R. Li, S. Yang, FEM Investigation of the Temperature Field of Energy Director During Ultrasonic Welding of PEEK Composites, State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, PR China.
22. K. Ninomiya, J.D. Ferry, Phenomenological relations for viscoelastic properties of polymer, Journal of Macromolecular Science, Part B, Department of Chemistry, University of Wisconsin Madison, Wisconsin 22 March 2010.
23. G.A. yakovlev, V.G. Karnaukhov, L.P Goncharov, Experimental investigation of viscoelastic properties of polymer materials.

24. J.k. Brennan, J. Andzelm, viscoelastic properties systems from dissipative practical dynamics simulations, Army research laboratory, November 2008.
25. L.H. Van Vlack, Elements of material science, Addison-wesley publishing co., Inc reading, 1964, chapter 7.
26. M.N. Watson, R.M Rivett, and J.I. Jhonson, Plastic – An industrial and literature survey of joining techniques. Research report, The Welding Institute, Cambridge, England, 1986.
27. Ultrasonic assembly of thermoplastic moldings and semi-finished products, German Electrical Manufactures Association.
28. A. Benatar, Joining of polymers and polymeric composites, welding engineering 694 class notes, The Ohio State University, 1988.
29. J. Sylfio, Mainolfi, Designing component parts for ultrasonic assembly, Plastics Engineering, December 1984, pages 29-32.
30. A.N. Sovetov, A.I. Chernyak, S.S Volkov, and Yu.N.V. Orlov, Ultrasonic welding of rigid plastic articles with V-shaped edges, Russian Ultrasonics 2, Vol.2, 1979, pages 71-75.
31. M.M. Tolunay, P.R. Dawson, and K.K. Wang, heating and bonding mechanisms in ultrasonic welding of thermoplastics, Polymer Engineering and Science, Vol 23, No.13, sept.1983, pages 726-733.
32. L. Alder, ultrasonic Evaluation, Welding Engineering 732 class notes, The Ohio University, 1987.
33. J. Krautkramer, and H. krautkramer, ultrasonic testing materials, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977.
34. E.Baer, Engineering design for plastics, polymer Science and Engineering Series, Reinhold publishing Corporation, New York, 1964.
35. I.V. Mogzgovi, and V.V. Samchel'kin,, Ultrasonic welding of polythylmethacrylate, with preliminary surface preparation, Russian Ultrasonics,4, No.3, 1974, pages.106-108.

36. I. Von Chem, W. Land, and Leverkusen, Investigations into the process of ultrasonic welding, “Kunststoffe”, Vol.68, No.4.
37. A. Benatar, and G. Timothy, Methods for fusion bonding thermoplastic composites, SAMPE Quarterly, October 1986, Pages 35-42.
38. C.B. bucknall, I.C. Drinkwater, and G.R. Smith, hot plate welding of plastics: factors affecting strength, Polymer Engineering and Science, Vol 20, No.6.
39. E. Mori, S. Kanesko, M. Gakumazawa, and Y.okawa, Ultrasonic welding of plastics, Ultrasonic International, Conference Proceedings, London, March, 1973.
40. A.N. Sovetov, B.Ya. Chernyak, S.S Volkov, and Yu.N. Orlov, Choice of the size of hard plastic parts for ultrasonic welding, Russian Ultrasonics, 6, 1976, pages 137-143.
41. H.Potente, Ultrasonic Welding-Principles Theory, Joining Plastics in production, Seminar Handbook, the Welding Institute, Abington hall, Abington, Cambridge, 1986.
42. C. Zhang, Far Field Ultrasonic Welding, M.S Thesis, Dept. of welding engineering, The Ohio State University, August, 1988.
43. E.Paul degarmo, J.T. Black, R.A. kosher, Materials and process in manufacturing, Prentice Hall, India.
44. R.A. Grimm, Welding processes for plastics, Advance materials and processes, Vol. 147, 1995.
45. Joining plastics in production, The Welding Institute.
46. K. Graff, Welding of thermoplastics, Welding Engineering 694C class notes, The Ohio State University, 1987

Ιστοσελίδες

1. www.assemblymag.com
2. www.twi.co.uk
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_welding
4. <http://www.sonitek.com/>
5. <http://www.sonicsandmaterials.com/>
6. <http://www.directindustry.com/>
7. <http://www.sensorprod.com/ultrasonic.php>
8. <http://www.envirocoustics.gr/>
9. <http://www.branson-plasticsjoin.com>
10. www.Branson-PlasticsJoin.com
11. <http://www.powerultrasonics.com>