

Επιστήμη και Τεχνολογία

Συγκολλήσεων

Ενότητα 3: Μετάδοση θερμότητας στις
συγκολλήσεις

Γρηγόρης Ν. Χαϊδεμενόπουλος

Πολυτεχνική Σχολή

Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σκοποί ενότητας

- Κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσεται το θερμοκρασιακό πεδίο στις συγκολλήσεις
- Η επίδραση των παραμέτρων συγκόλλησης στις θερμοκρασιακές κατανομές

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή
2. Η θερμότητα που παράγεται από το ηλεκτρικό τόξο
3. Το πρόβλημα της ετάδοσης θερμότητας
4. Θερμοκρασιακές κατανομές – Λύσεις Rosenthal
5. Θερμοκρασιακές κατανομές
6. Ρυθμός ψύξης και μέγιστη θερμοκρασία-
Λύσεις Adams
7. Υπολογισμός θερμοκρασιακών κατανομών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Ενότητα 3: Μετάδοση θερμότητας

Εισαγωγή 1 (1)

Το θερμοκρασιακό πεδίο επηρεάζει σημαντικά τα μηχανικά και μεταλλουργικά χαρακτηριστικά της συγκόλλησης όπως

- Το εύρος και την δομή του μετάλλου
- Το εύρος και την δομή της θερμοεπηρεασμένης ζώνης ΘΕΖ
- Τις παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις

Η θερμότητα που παράγεται από το ηλεκτρικό τόξο 2 (1)

Όταν πραγματοποιείται μια συγκόλληση τόξου με τάση V και ένταση ρεύματος I η ηλεκτρική ισχύς του τόξου είναι VI . Βέβαια δεν αξιοποιείται όλη αυτή η ισχύς λόγω απωλειών. Έτσι η θερμική ισχύς Q που εισέρχεται στο μέταλλο και καταναλώνεται για τη συγκόλληση είναι:

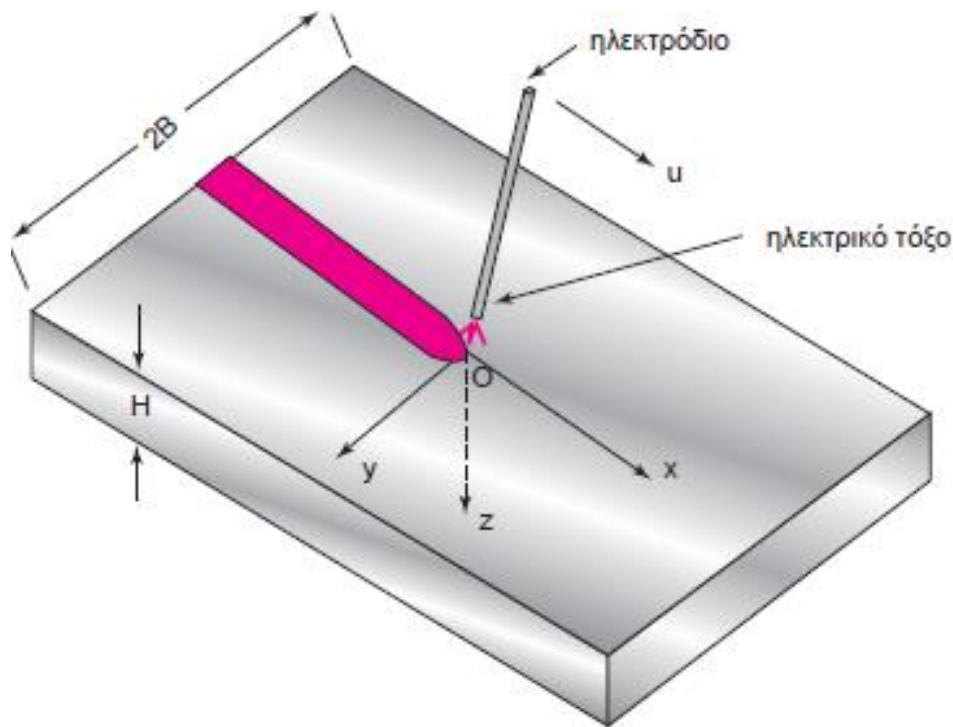
$$Q = \eta VI$$

Όπου η είναι ο βαθμός απόδοσης του τόξου και εξαρτάται από τη μέθοδο συγκόλλησης σύμφωνα με τον πίνακα 1

Μέθοδος συγκόλλησης	η
SMAW	0.7-0.9
GMAW	0.7-0.9
GTAW	0.6-0.8
SAW	0.8-0.95
LBW	0.05
EBW	0.8-0.95

Πίνακας 1: Ο βαθμός απόδοσης του τόξου στις διάφορες μεθόδους συγκόλλησης

Το πρόβλημα της μετάδοσης θερμότητας 3 (1)

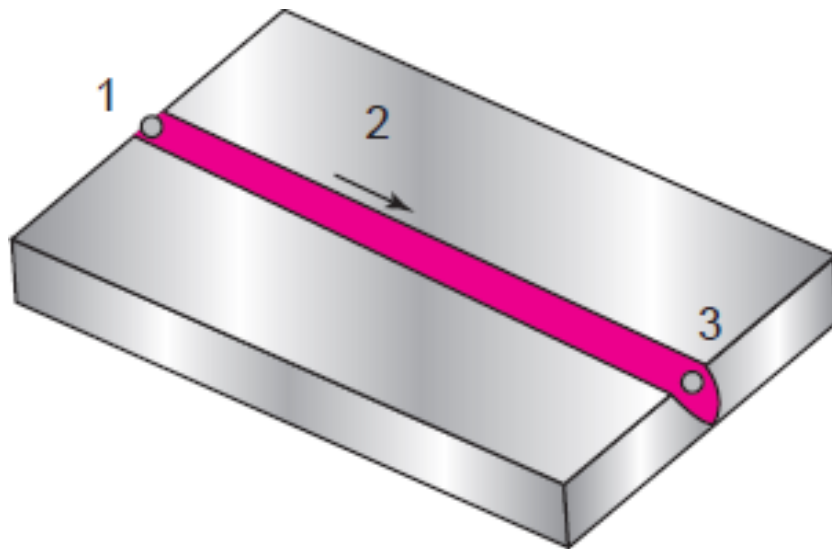


Γεωμετρικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του προβλήματος θερμότητας.

Σχήμα 1: Γεωμετρικό μοντέλο για την λύση του προβλήματος μετάδοσης θερμότητας στις συγκολλήσεις

Το πρόβλημα της μετάδοσης θερμότητας 3 (2)

Στις φάσεις 1 και 3 επικρατούν ισχυρά μη – μόνιμες συνθήκες και το πρόβλημα μετάδοσης θερμότητας είναι αρκετά σύνθετο. Εάν αγνοήσουμε τις φάσεις αυτές τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στη φάση 2 επικρατούν μόνιμες συνθήκες σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς που κινείται μαζί με ένα τόξο



- 1: Ένταση τόξου
- 2: Μετακίνηση τόξου
- 3: Στήσιμο τόξου

Σχήμα 2: Οι τρεις φάσεις κατά την πραγματοποίηση μια συγκόλλησης

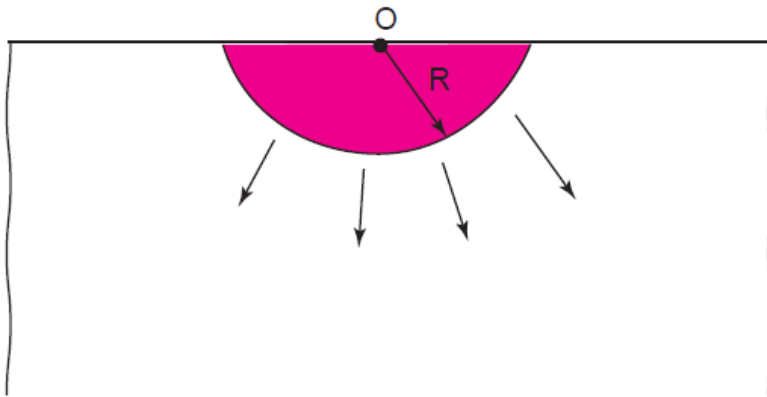
Θερμοκρασιακές κατανομές – Λύσεις Rosenthal 4 (1)

Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η θερμοκρασιακή κατανομή για τρεις περιπτώσεις

Περίπτωση 1^η: ημιάπειρο έλασμα μεγάλου πάχους

Η συγκόλληση πραγματοποιείται σε ελάσματα μεγάλων διαστάσεων σε σχέση με τις διαστάσεις της συγκόλλησης

Το πάχος ελάσματος H είναι μεγάλο ώστε να θεωρούμε ότι $H \rightarrow \infty$.



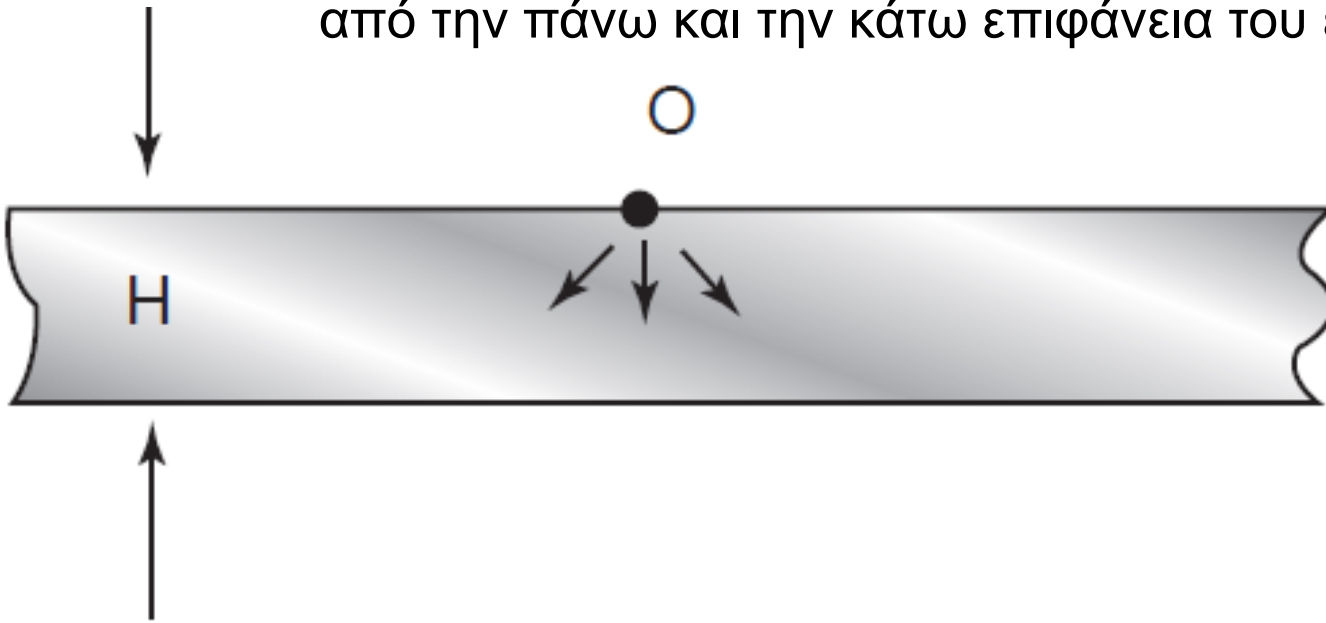
Πρόκειται για τρισδιάστατο πρόβλημα όπου θεωρούμε ότι η συγκόλληση πραγματοποιείται από κινούμενη σημειακή πηγή θερμότητας. Η θερμοροή που εξέρχεται από το ημισφαίριο ακτίνας R που περιβάλλει τη σημειακή πηγή τείνει στη συνολική ισχύ Q του τόξου όταν $R \rightarrow \infty$

Σχήμα 3: Σημειακή θερμική πηγή στην επιφάνεια ελάσματος απείρου πάχους

Θερμοκρασιακές κατανομές – Λύσεις Rosenthal 4 (2)

Περίπτωση 2^η: ημιάπειρο έλασμα μεγάλου πάχους

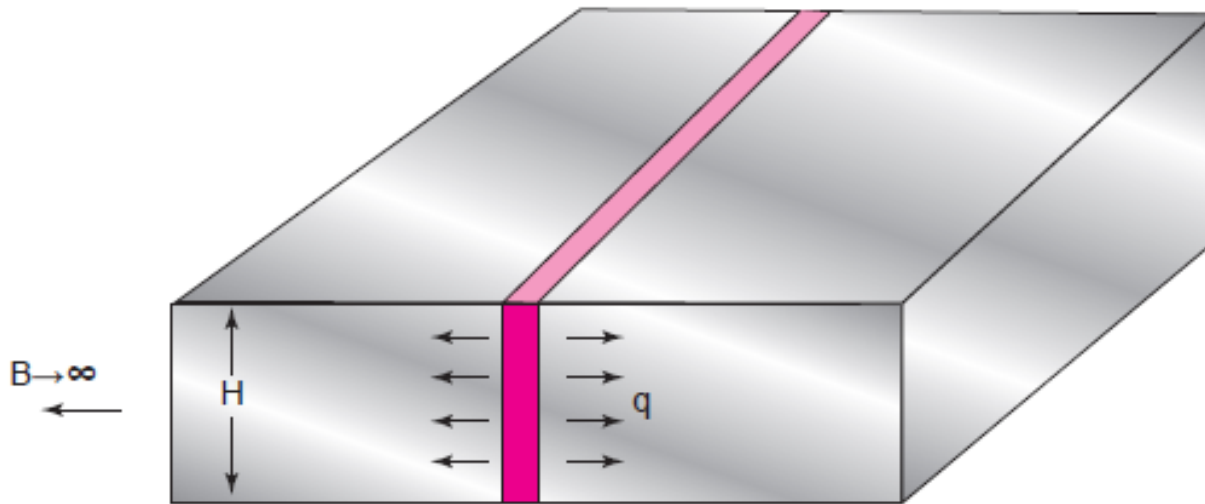
Τρισδιάστατο πρόβλημα με κινούμενη σημειακή πηγή σε έλασμα πεπερασμένου πάχους H . για τις συνοριακές συνθήκες θα θεωρήσουμε μηδενικές θερμικές απώλειες από την πάνω και την κάτω επιφάνεια του ελάσματος



Σχήμα 4: Σημειακή θερμική πηγή σε πλάκα πεπερασμένου πάχους

Θερμοκρασιακές κατανομές – Λύσεις Rosenthal 4 (3)

Περίπτωση 3^η: Συγκόλληση σε λεπτό έλασμα άπειρου πλάτους
τρισδιάστατο πρόβλημα όπου θεωρούμε ότι η κινούμενη
θερμική πηγή είναι γραμμική κατά το πάχος H του
ελάσματος



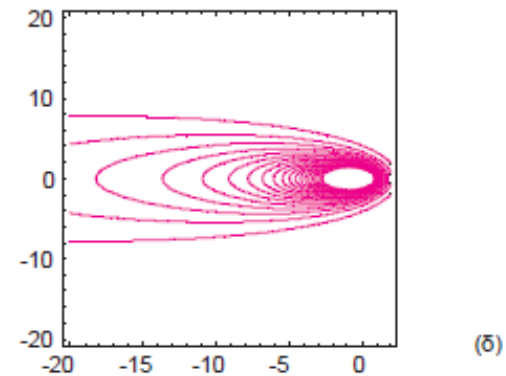
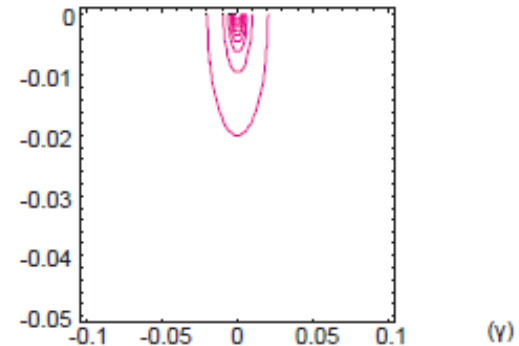
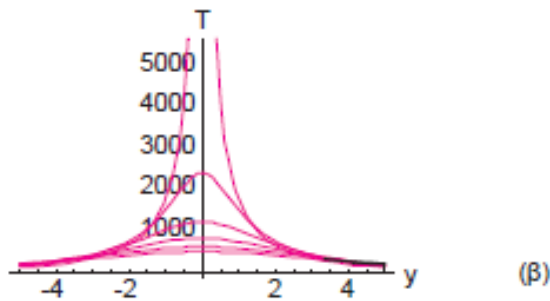
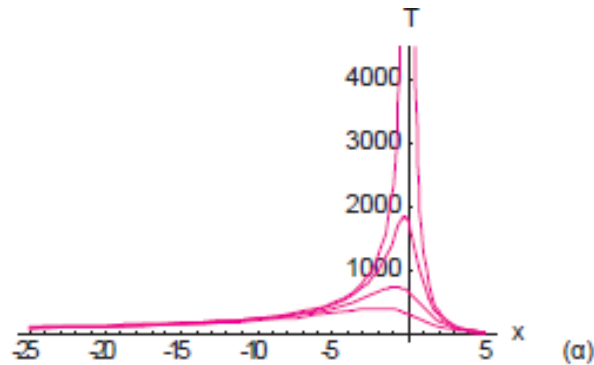
Σχήμα 5: Γραμμική θερμική πηγή σε λεπτό έλασμα απείρου πλάτους

Θερμοκρασιακές κατανομές 5 (1)

Πίνακας 2: Φυσικές σταθερές υλικών

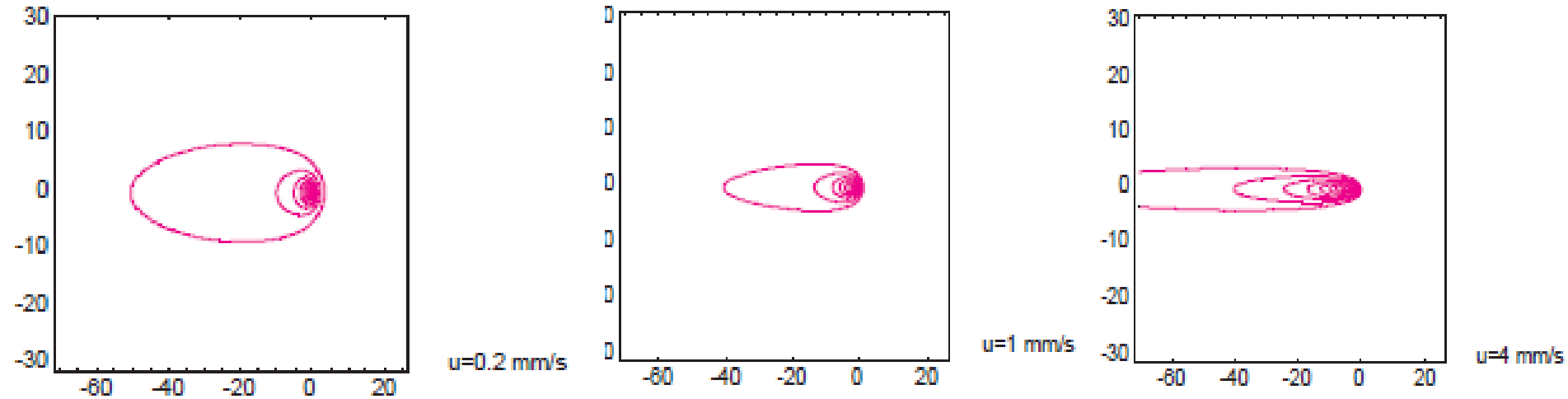
	Χάλυβας St37	Ανοξείδωτος χάλυβας 304	Κράμα αλουμινίου 6061 (AlMgSi)
k (W/mm°C)	0.04	0.02	0.167
α (mm ² /s)	8	4	62
ρc (J/mm ³ °C)	0.005	0.05	0.0027

Θερμοκρασιακές κατανομές 5 (2)



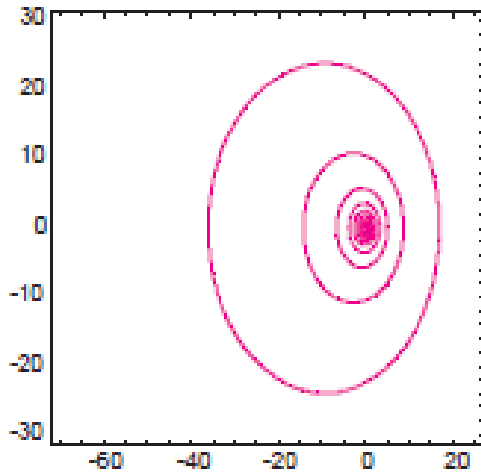
Σχήμα 6: Θερμοκρασιακές κατανομές για την περίπτωση της σημειακής πηγής σε ημιάπειρο έλασμα: (α) Κατανομή T - x , (β) Κατανομή T - y , (γ) Ισόθερμες στο επίπεδο zy ($x=0$), (δ) ισόθερμες στο επίπεδο xy ($z=0$)

Θερμοκρασιακές κατανομές 5 (3)

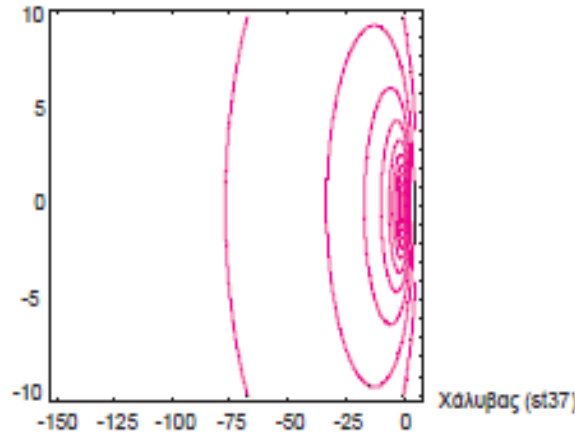


Σχήμα 7: Επίδραση της ταχύτητας τόξου στις θερμοκρασιακές κατανομές (ισόθερμες στο επίπεδο xy) κατά τη συγκόλληση ωστενιτικού ανοξειδωτου χάλυβα

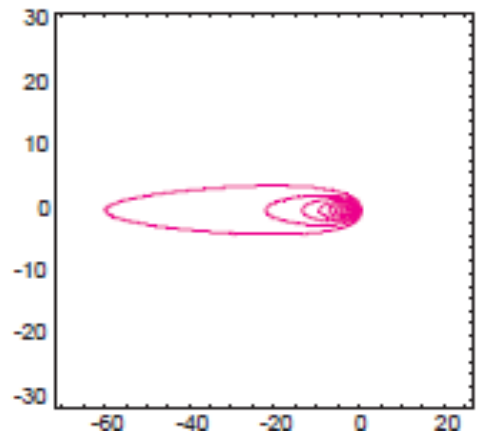
Θερμοκρασιακές κατανομές 5 (4)



Αλουμινιο (AlMgSi)



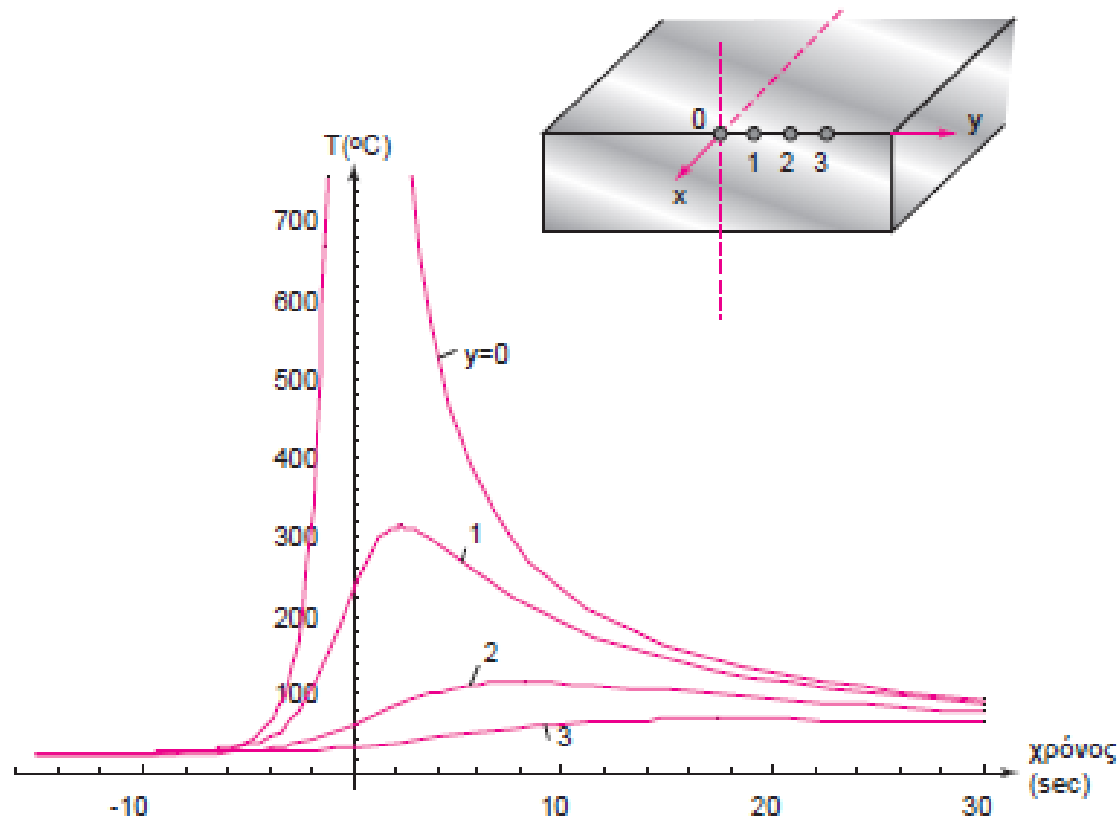
Χάλυβας (st37)



Ανοξείδωτος χάλυβας (304)

Σχήμα 8: Επίδραση του υλικού (βασικού μετάλλου) στις θερμοκρασιακές κατανομές (ισόθερμες στο επίπεδο xy) κατά τη συγκόλληση με ταχύτητα $u = 2\text{mm/s}$

Θερμοκρασιακές κατανομές 5 (5)



Σχήμα 9: Διάγραμμα $T-t$ (θερμικοί κύκλοι) στη θέση $x = 0, z = 0$ για $y = 0, 1, 2, 3$

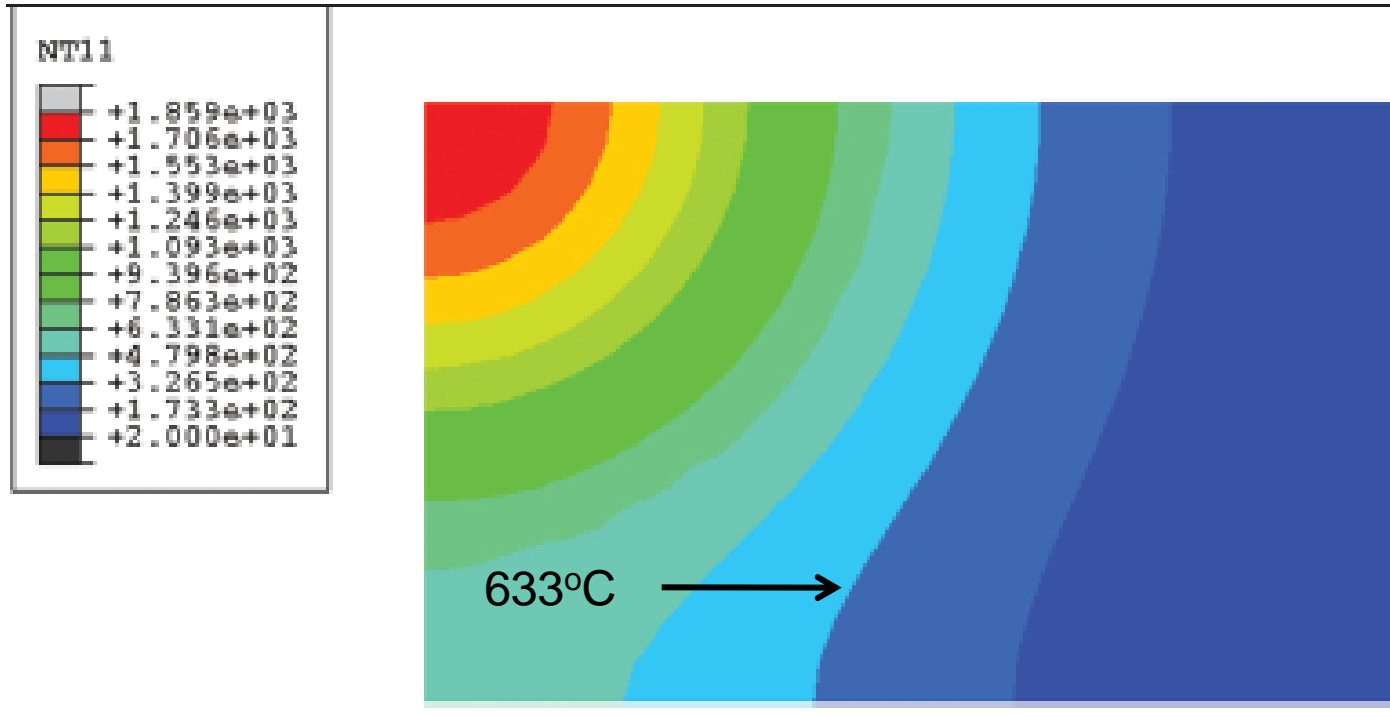
Ρυθμός ψύξης και μέγιστη θερμοκρασία – Λύσεις Adams 6 (1)

Παράγοντες που επιδρούν στο ρυθμό ψύξης

Η προθέρμανση είναι ίσως η αποτελεσματικότερη μέθοδος για τη μείωση του ρυθμού ψύξης ώστε να μην έχουμε το σχηματισμό ανεπιθύμητων φάσεων στη μικροδομή EZ.

Παράλληλα μειώνεται και η τάση του υλικού γι αρηγμάτωση η οποία πολλές φορές εμφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας απότομης της ψύξης

Υπολογισμός θερμοκρασιακών κατανομών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων 7 (1)



Σχήμα 10: Θερμοκρασιακές κατανομές (ισόθερμες στο επίπεδο yz) για συγκόλληση κράματος αλουμινίου 6061 με δέσμη laser. Η δέσμη κινείται στη διεύθυνση x . Η ισόθερμη στην τιμή $T=633^\circ\text{C}$ αντιστοιχεί στο σύνορο τήξης κι οριοθετεί το μέταλλο συγκόλλησης.