

Επιστήμη και Τεχνολογία

Συγκολλήσεων

Ενότητα 6: Μέταλλο συγκόλλησης

Γρηγόρης Ν. Χαϊδεμενόπουλος

Πολυτεχνική Σχολή

Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



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

- Εισαγωγή στο μέταλλο συγκόλλησης
- Στερεοποίηση μετάλλου

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή
2. Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μετάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων
3. Προβλήματα που σχετίζονται με τη στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης
4. Μετασχηματισμοί μετά τη στερεοποίηση – διαμόρφωση της μικροδομής

Ενότητα 6: Μέταλλο συγκόλλησης

Εισαγωγή 1 (1)

Το μέταλλο συγκόλλησης αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα μιας συγκόλλησης τήξεως, αφού πραγματοποιείται η σύνδεση των δυο μετάλλων.

Η διαδικασία συγκόλλησης αποτελεί μικρογραφία της χύτευσης των μετάλλων με τις εξής διαφορές

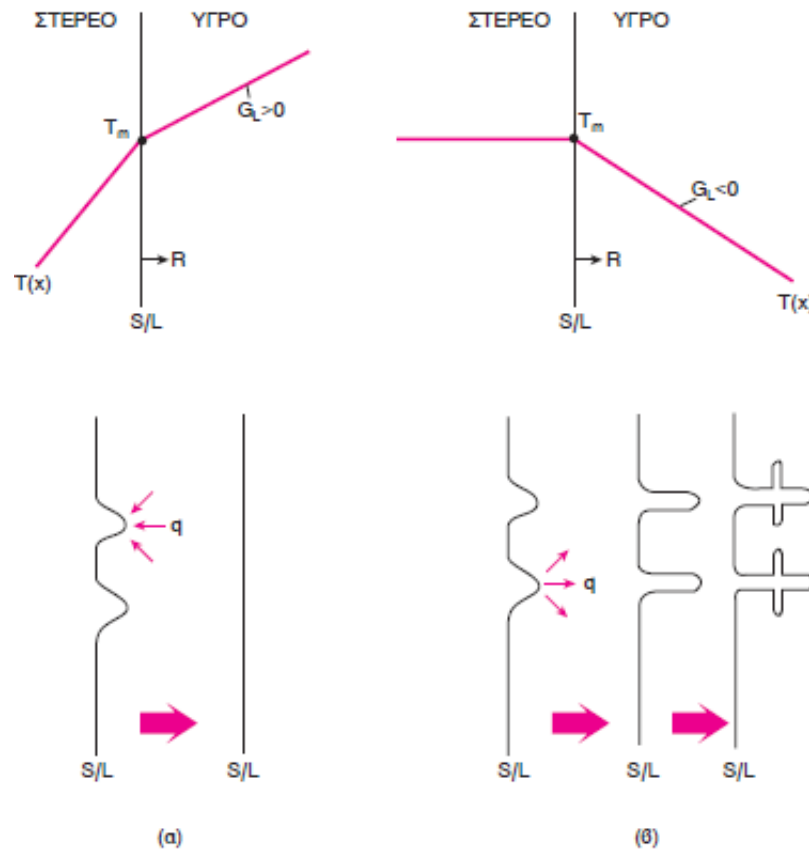
1. Στις συγκολλήσεις ο όγκος του μετάλλου που τήκεται και στερεοποιείται είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο όγκο στα χυτά
2. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε εξαιρετικά μικρότερους χρόνους από αυτούς που συναντάται στη χύτευση

Εισαγωγή 1 (2)

Η διαμόρφωση της μικροδομής στο μέταλλο συγκόλλησης περιλαμβάνει δυο τουλάχιστον στάδια:

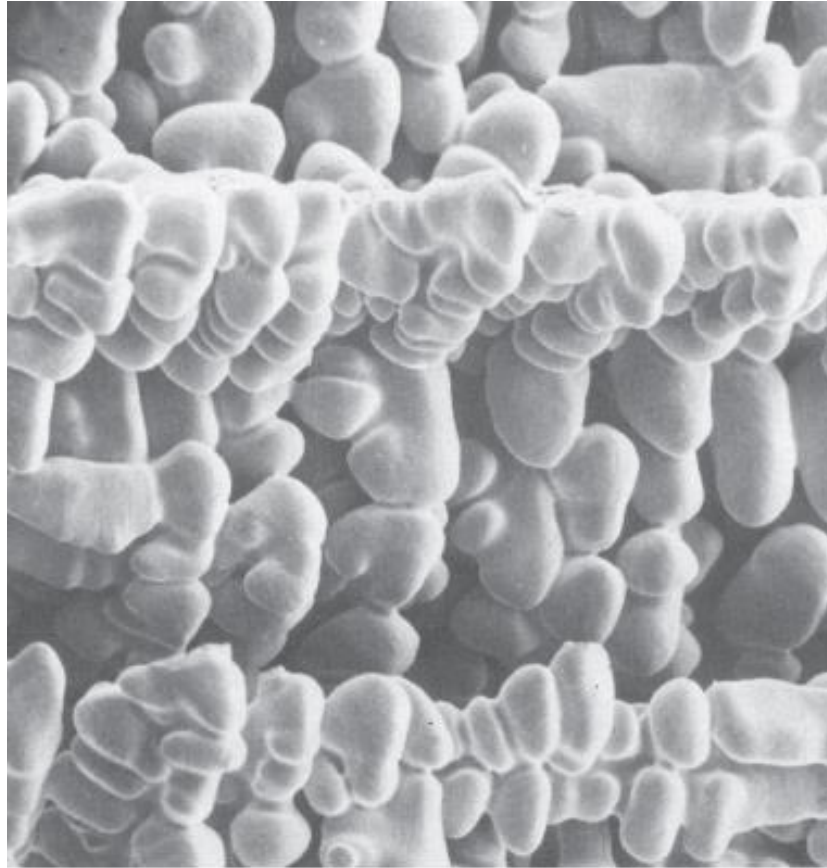
- Στάδιο 1: στερεοποίηση και διαμόρφωση της μορφολογίας των κόκκων (σχήμα και κατευθυντικότητα των κόκκων)
- Στάδιο 2: μετασχηματισμοί μετά τη στερεοποίηση – διαμόρφωση της τελικής μικροδομής.

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μτάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (1)



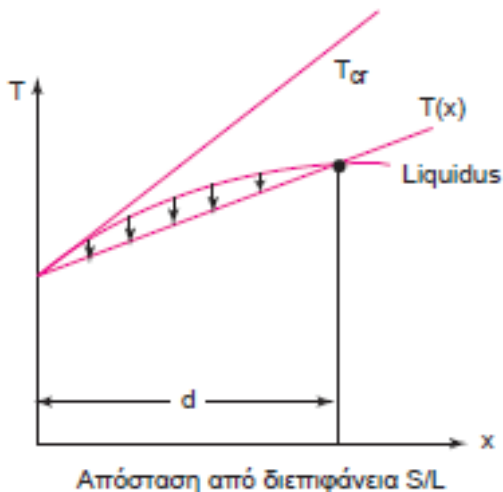
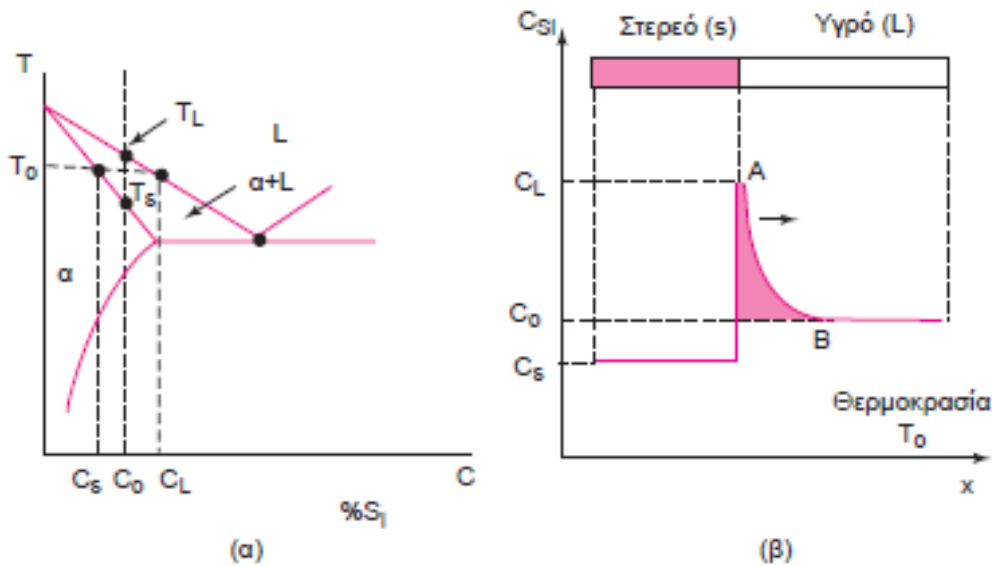
Σχήμα 1: Οι δύο μηχανισμοί στερεοποίησης: (α) επίπεδο μέτωπο, (β) δενδριτική στερεοποίηση

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μτάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (2)



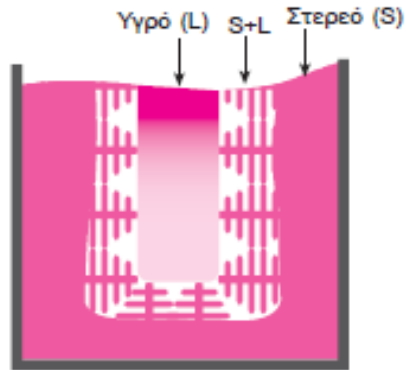
Σχήμα 2: Τρισδιάστατη δενδριτική δομή

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μτάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (3)

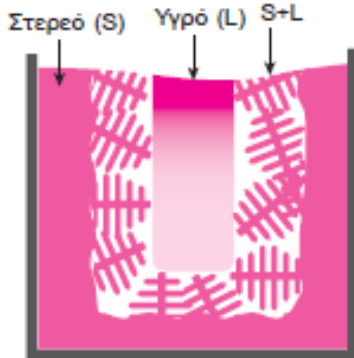


Σχήμα 3: Συνθήκες συστασιακής υπέρψυξης: (α) διάγραμμα φάσεων Al-Si με σύσταση κράματος C_o , (β) σχηματισμός οριακού στρώματος πυριτίου, (γ) μεταβολή liquidus και συστασιακή υπέρψυξη

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μτάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (4)



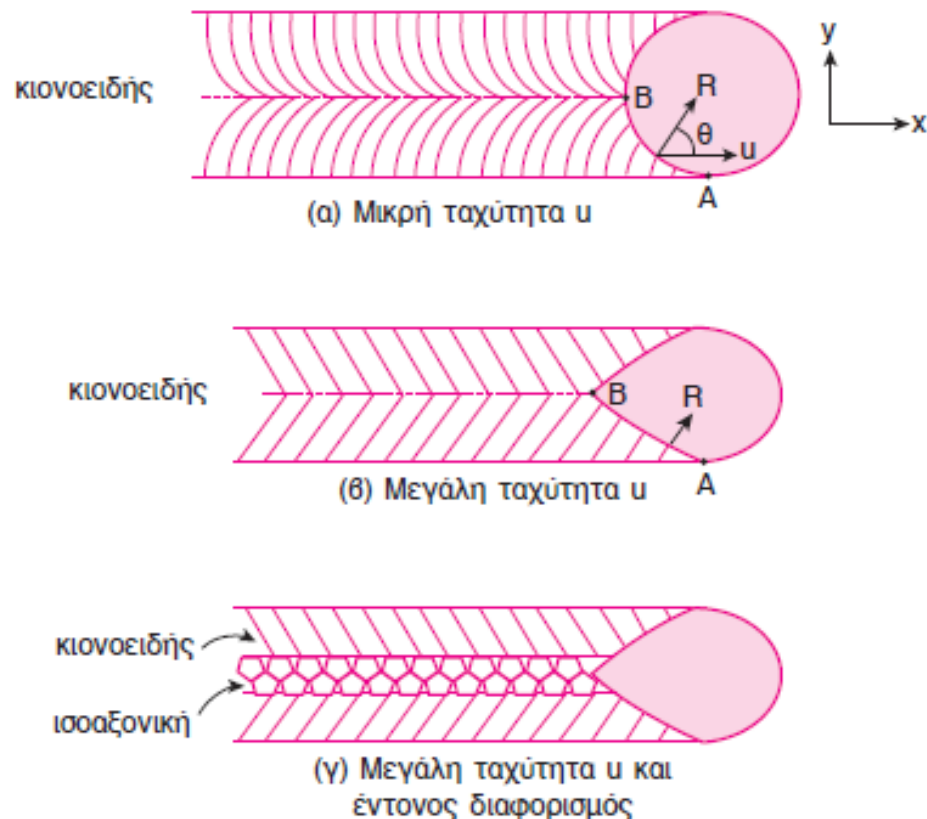
(α)



(β)

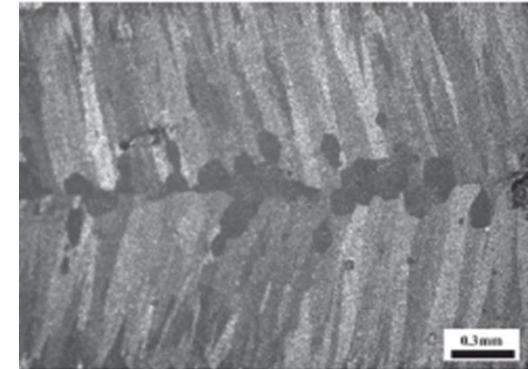
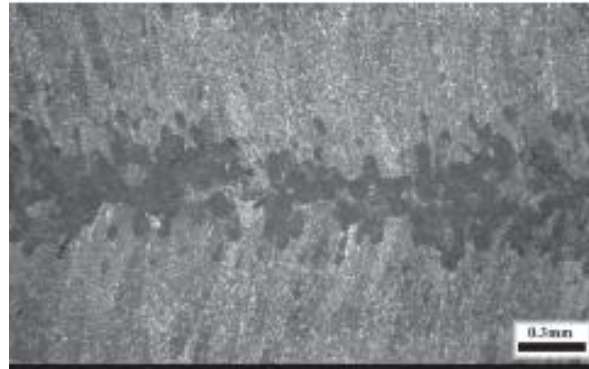
Σχήμα 4: Ανάπτυξη δένδριτικής δομής στα χυτά (α) κατευθυντική ανάπτυξη προκαλεί κιονοειδή δομή (β) άτακτη ανάπτυξη προκαλεί ισοαξονική δομή

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μτάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (5)



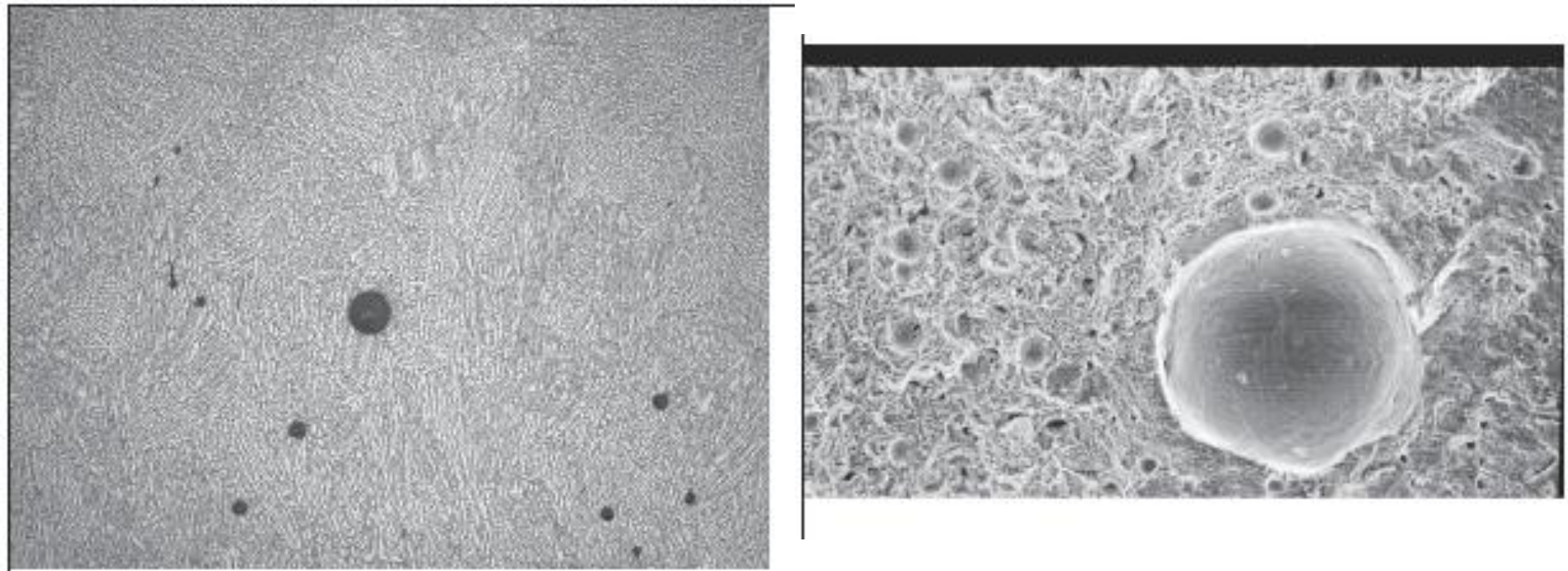
Σχήμα 5: Επίδραση της ταχύτητας συγκόλλησης στη μορφολογία των κόκκων του μετάλλου συγκόλλησης

Το πρώτο στάδιο: Στερεοποίηση μετάλλου συγκόλλησης – Μορφολογία των κόκκων 2 (6)



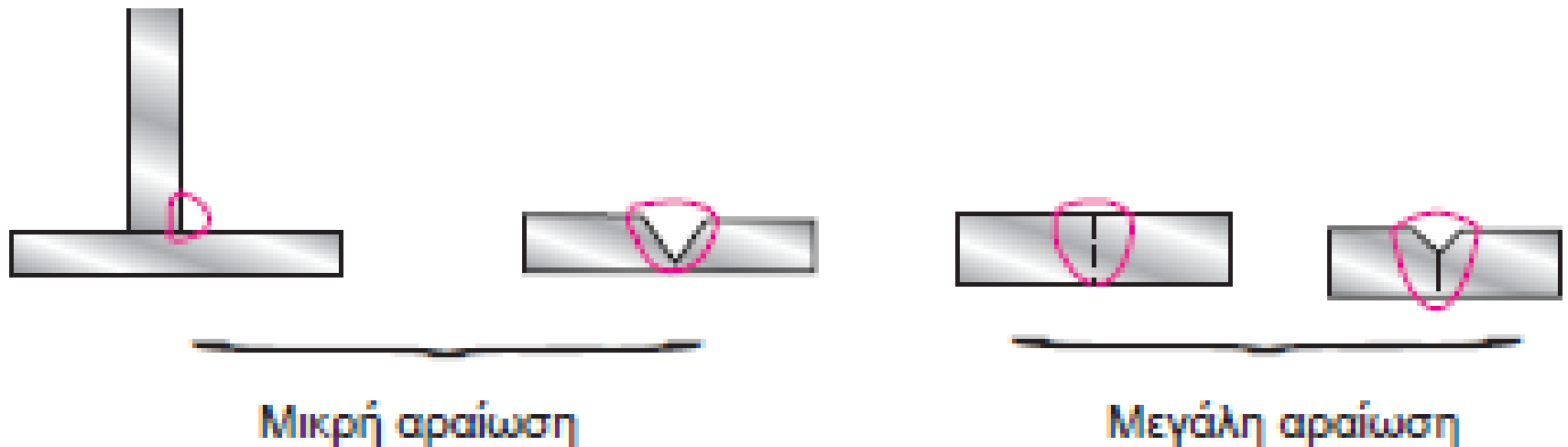
Σχήμα 6: Μορφολογία των κόκκων στο μέταλλο συγκόλλησης κράματος αλουμινίου 6061: (α) κιονοειδής δομή με καμπυλωμένα σύνορα (β) κιονοειδής δομή με ευθύγραμμα σύνορα (γ) κιονοειδής δομή με ισοαξονική ζώνη στο κέντρο

Προβλήματα που σχετίζονται με την στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης 3 (1)



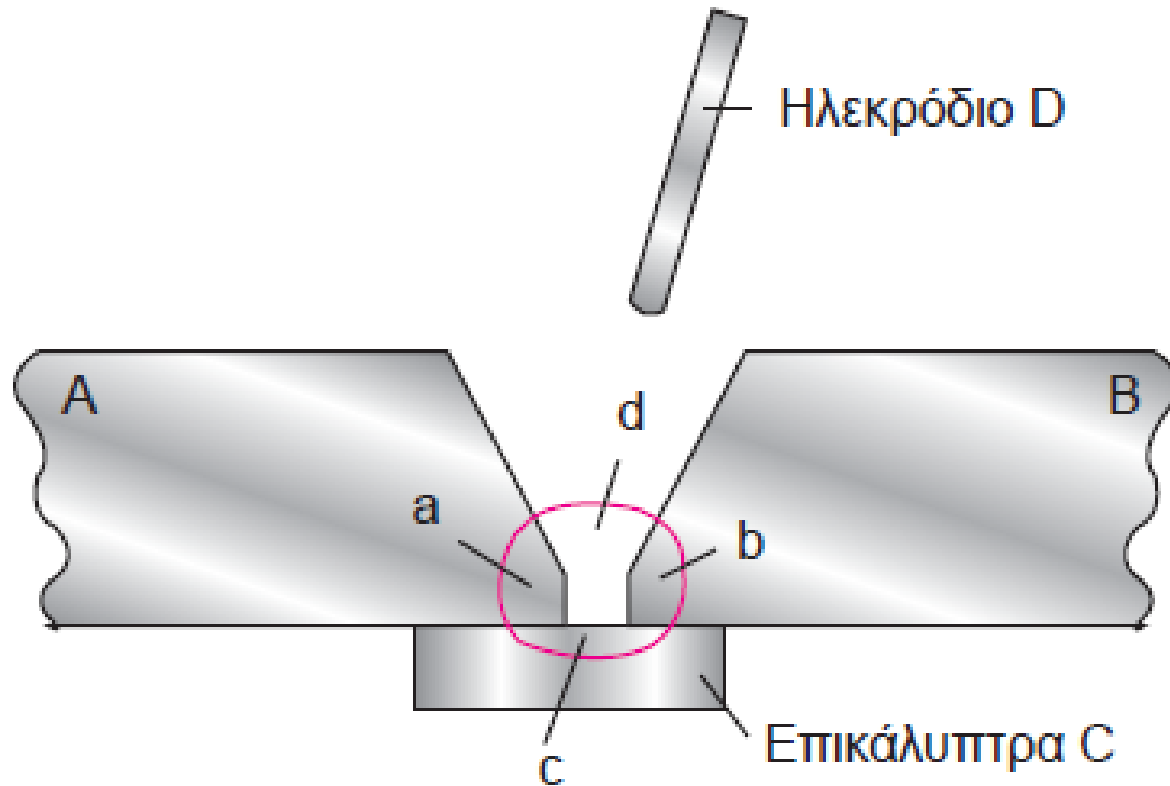
Σχήμα 7: Πόροι στο μέταλλο συγκόλλησης: (α) παρατήρηση στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, (β) παρατήρηση σε επιφάνεια θραύσης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)

Προβλήματα που σχετίζονται με την στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης 3 (2)



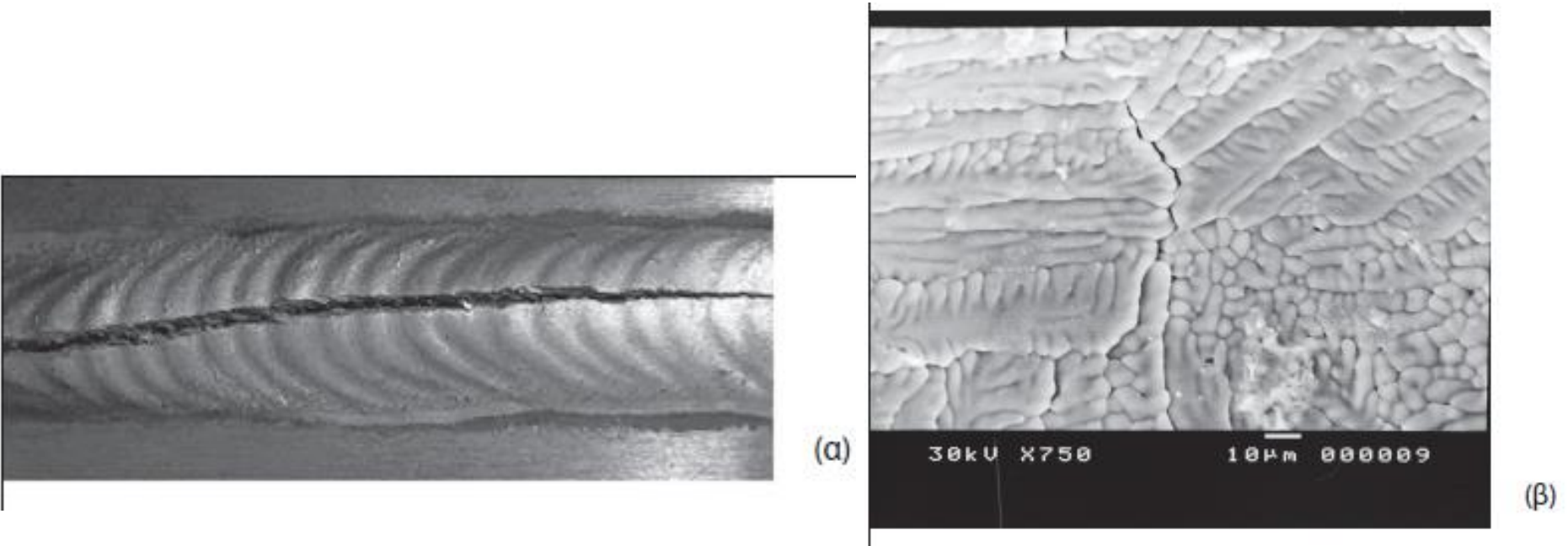
Σχήμα 8: Επίδραση γεωμετρίας σύνδεσης και προετοιμασίας ακμών στην αραιώση

Προβλήματα που σχετίζονται με την στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης 3 (3)



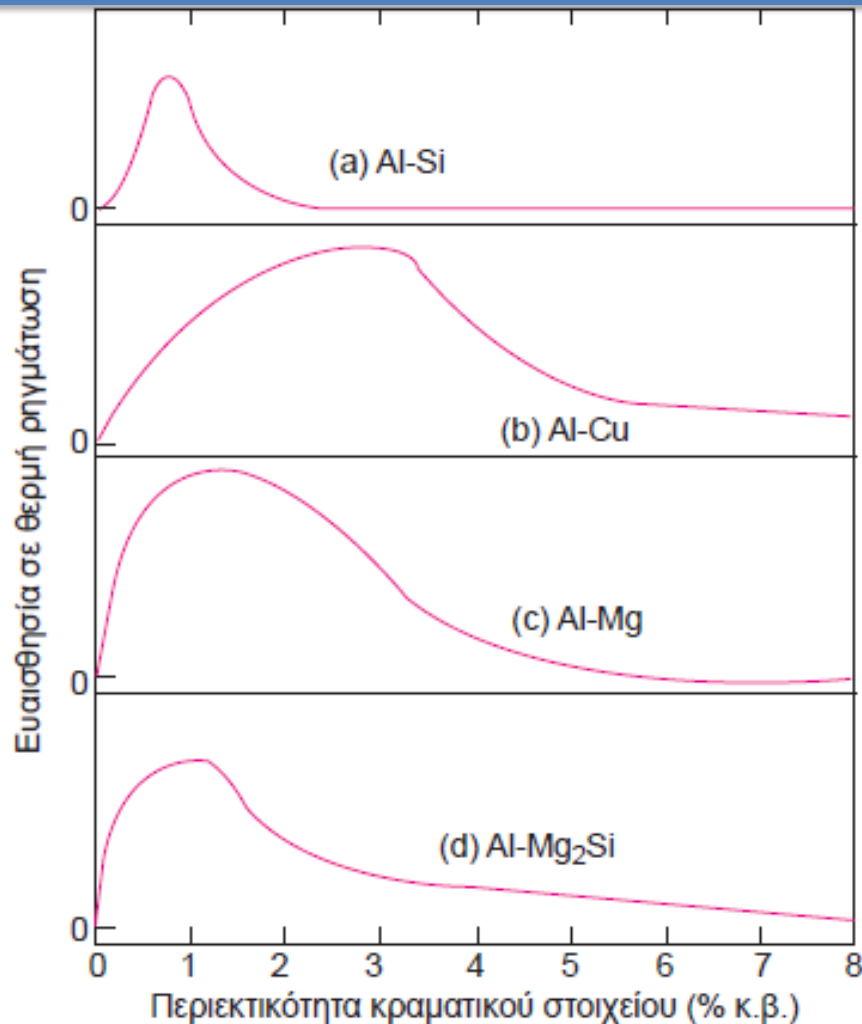
Σχήμα 9: Συγκόλληση μετάλλων A & B με επικάλυπτρα C και ηλεκτρόδιο D

Προβλήματα που σχετίζονται με την στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης 3 (4)



Σχήμα 10: Θερμή ρηγμάτωση: (α) θερμορωγμή στο μέταλλο συγκόλλησης κράματος αλουμινίου 6061 (β), θερμορωγμές που σχηματίζονται στα όρια των δένδριτών

Προβλήματα που σχετίζονται με την στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης 3 (5)



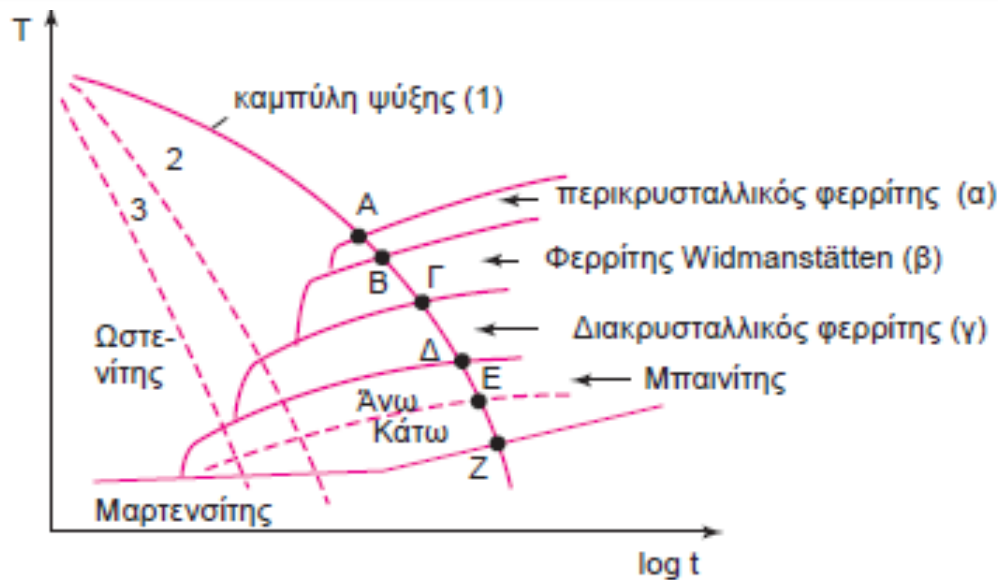
Μέταλλο συγκόλλησης

Σχήμα 11: Ευαισθησία ορισμένων κραμάτων αλουμινίου στη θερμή ρηγμάτωση σαν συνάρτηση του κραματικού στοιχείου (Πηγή: J.H. Dudas, F.R. Collins, *Welding Journal*, 45(6), 241s-249s, 1966)

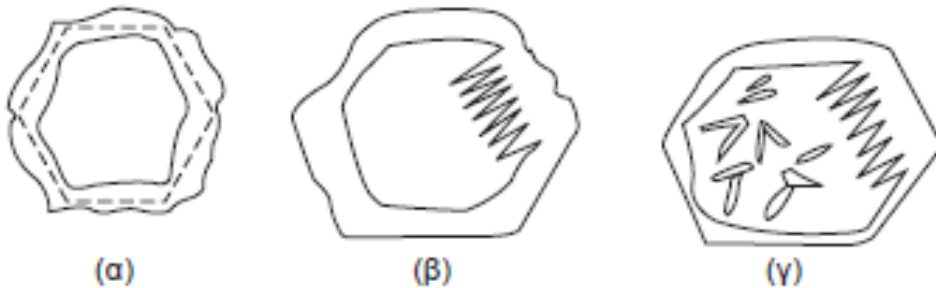
Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (1)

Το μέταλλο συγκόλλησης μετά τη στερεοποίηση συνεχίζει να ψύχεται και να μετασχηματίζεται. Οι μετασχηματισμοί αυτοί πραγματοποιούνται σε στερεά κατάσταση και τροποποιούν τόσο τη μικροδομή όσο και τις ιδιότητες του μετάλλου συγκόλλησης.

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (2)



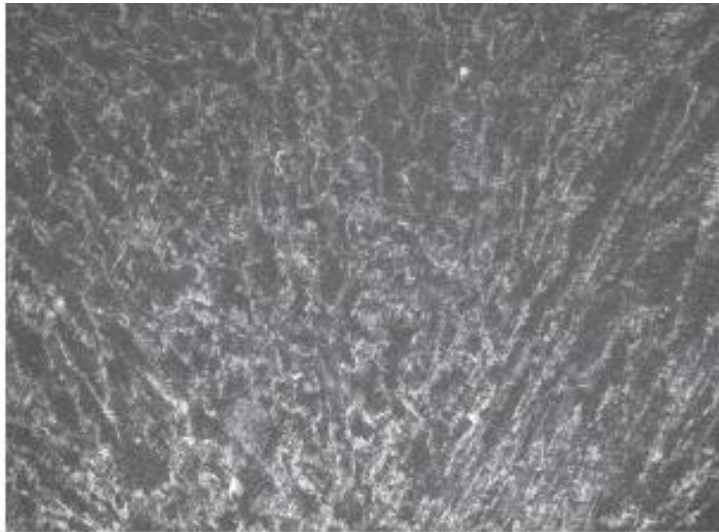
Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης ανθρακοχαλύβων (με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα) και χαμηλά κραματωμένων χαλύβων



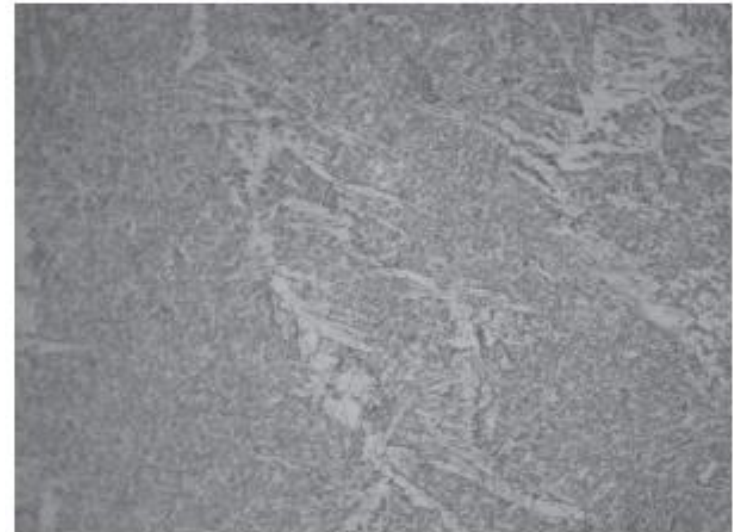
Σχήμα 12: Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης ανθρακοχάλυβα: διάγραμμα CCT και σχηματισμός διαφορετικών μικροδομών

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (3)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης ανθρακοχαλύβων (με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα) και χαμηλά κραματωμένων χαλύβων



(α) Γενική άποψη μετάλλου συγκόλλησης

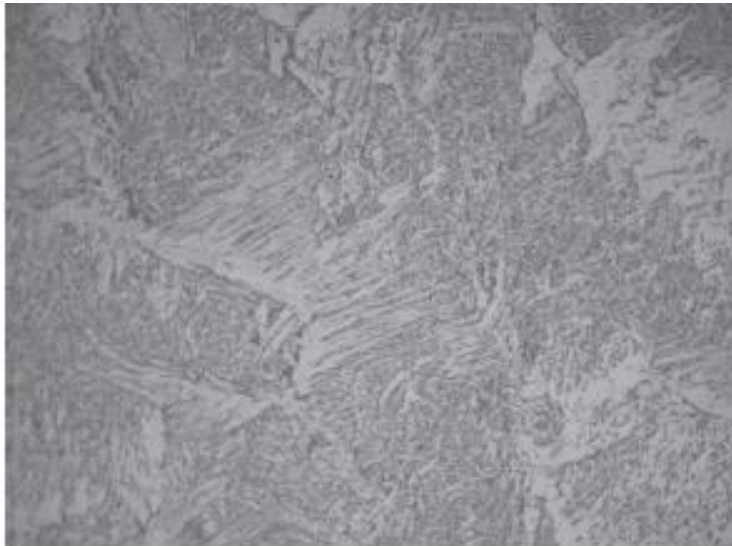


(β) Περαιτωματιλικός περλίτης

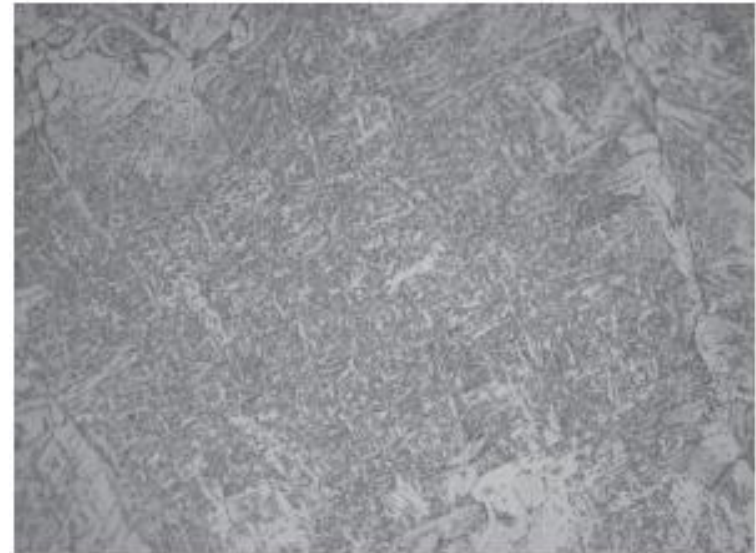
Σχήμα 13: Μικροδομές μετάλλου συγκόλλησης ανθρακοχάλυβα
Μέταλλο συγκόλλησης

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (4)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης ανθρακοχαλύβων (με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα) και χαμηλά κραματωμένων χαλύβων



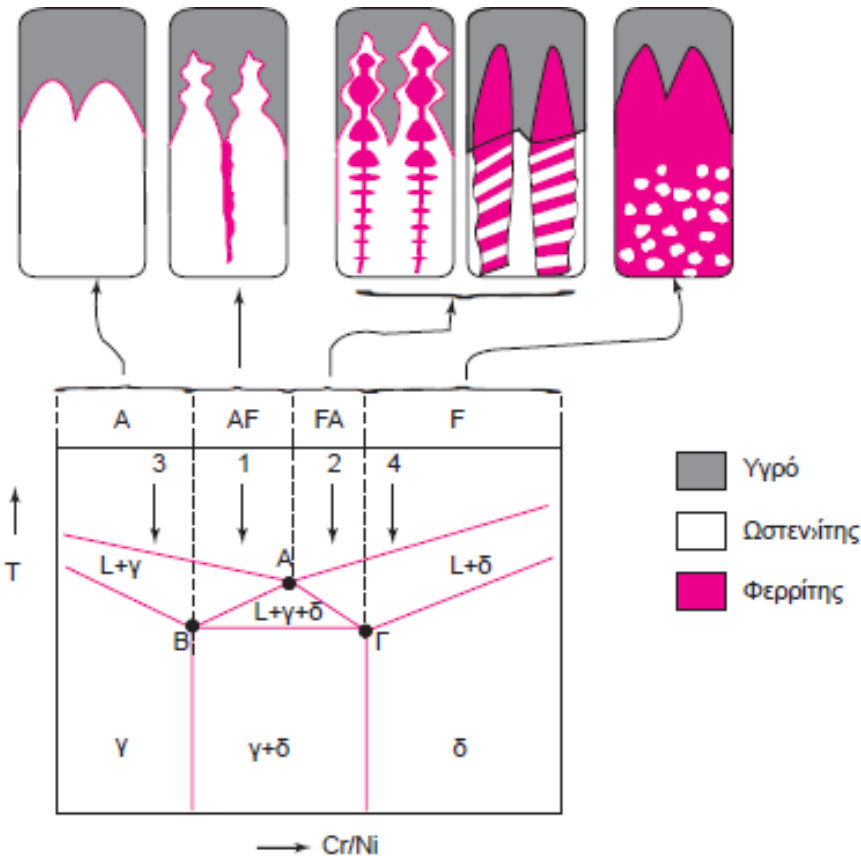
(γ) Φερρίτης Widmanstätten



(δ) Διακρυσταλλικός Φερρίτης

Σχήμα 14: Μικροδομές μετάλλου συγκόλλησης ανθρακοχάλυβα

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (5)



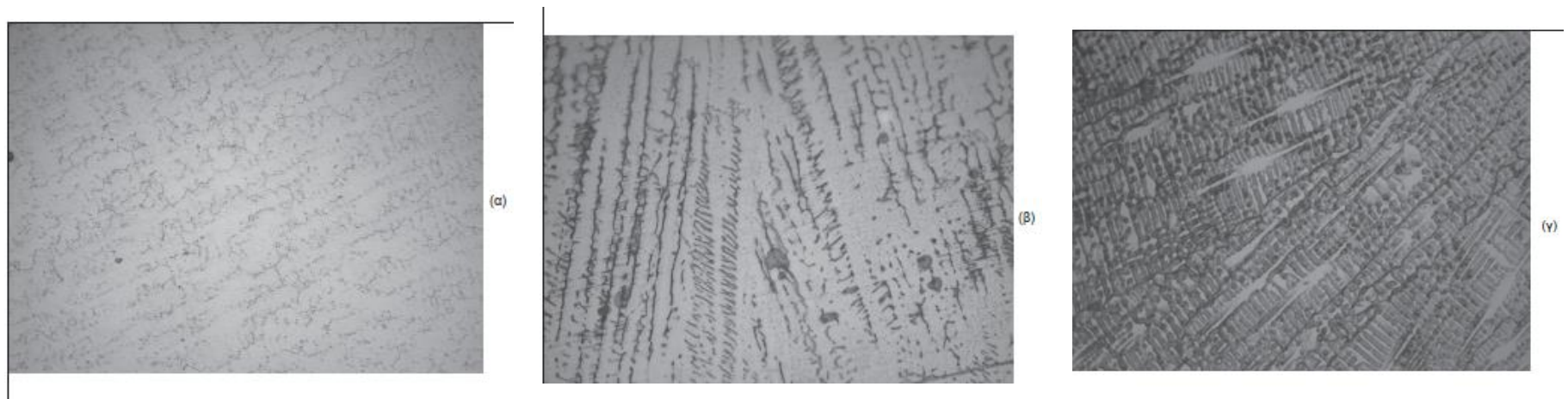
Μετασχηματισμοί στο μέταλλο
συγκόλλησης των ωστενιτικών
ανοξειδωτων χαλύβων

Σχήμα 15: Μορφολογίες φερρίτη και τύποι στερεοποίησης στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων

Μέταλλο συγκόλλησης

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (6)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών
ανοξειδωτων χαλύβων

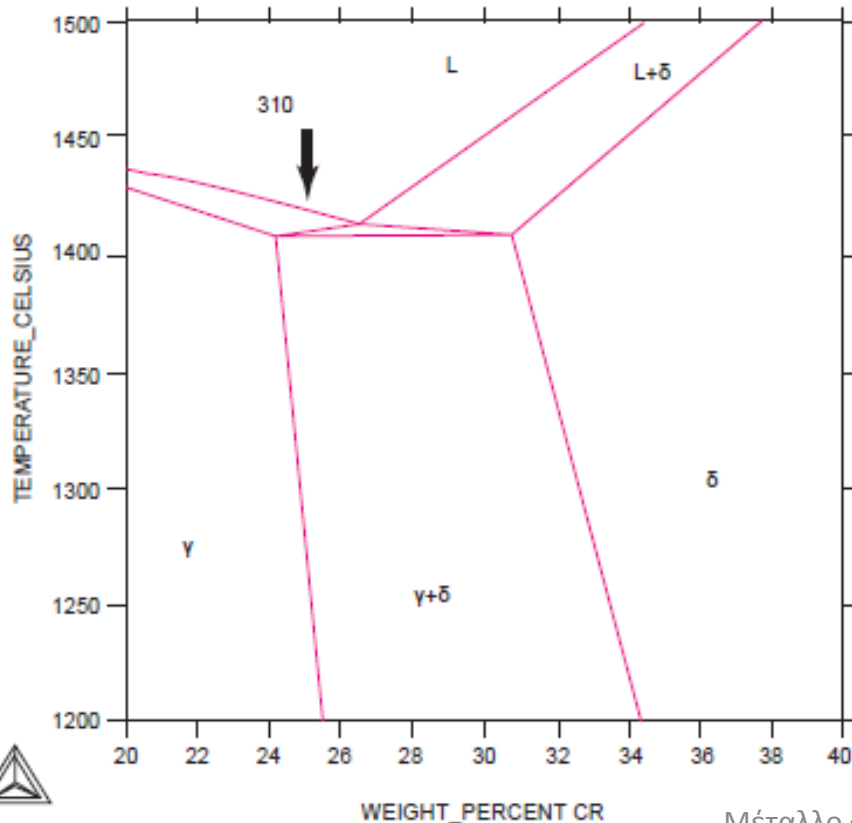


Σχήμα 16: Μορφολογίες φερρίτης: (α) ενδοδενδριτικός φερρίτης σε χάλυβα 310 (β) σκελετοειδής φερρίτης σε χάλυβα 309 (γ) ραβδωτός φερρίτης σε χάλυβα 309

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (7)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων

THERMO-CALC (2009.05.06:10.17):
DATABASE:SSOL
W(Fe)=5.5E-1,N=1., P=100000;

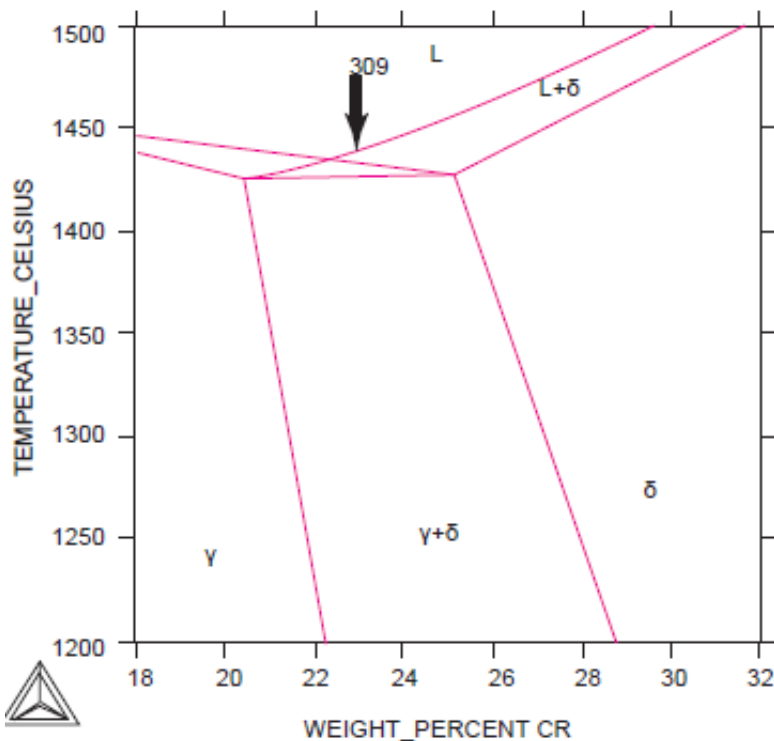


Σχήμα 17: Ψευδοδιμερές διάγραμμα 55Fe-Cr-Ni (το βέλος δείχνει τον χάλυβα 310: 25Cr-20Ni-55Fe)

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (8)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων

THERMO-CALC (2009.05.06:10.23):
DATABASE:SSOL
W(Fe)=6.3E-1,N=1., P=100000;

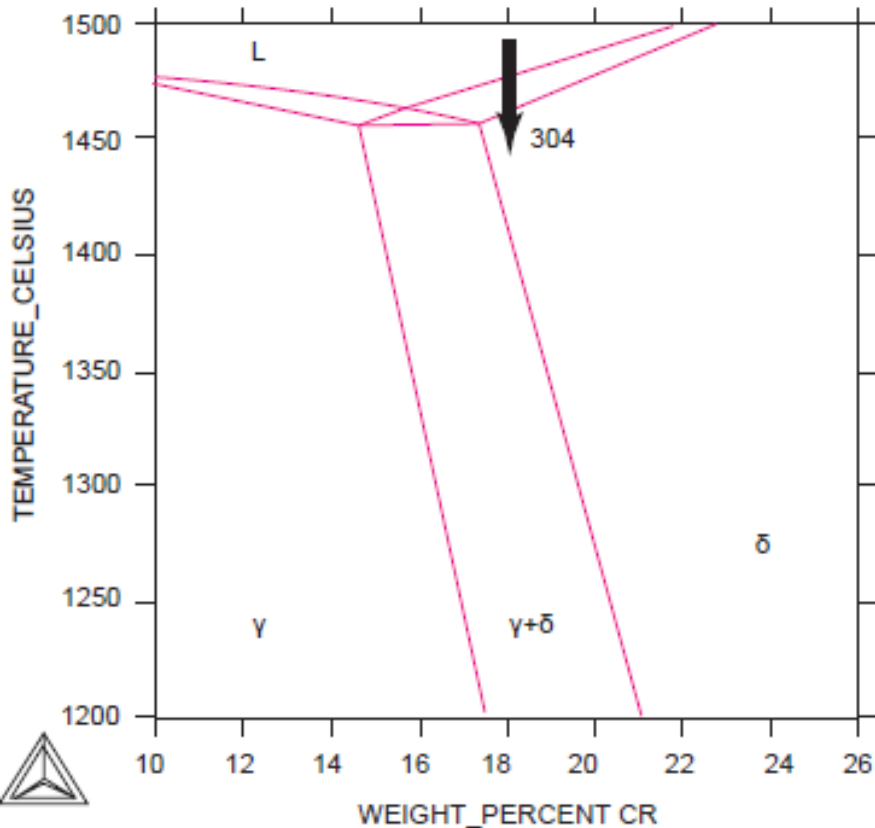


Σχήμα 18: 63Fe-Cr-Ni (το βέλος δείχνει
τον χάλυβα 309: 23Cr-14Ni-63Fe)

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (9)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων

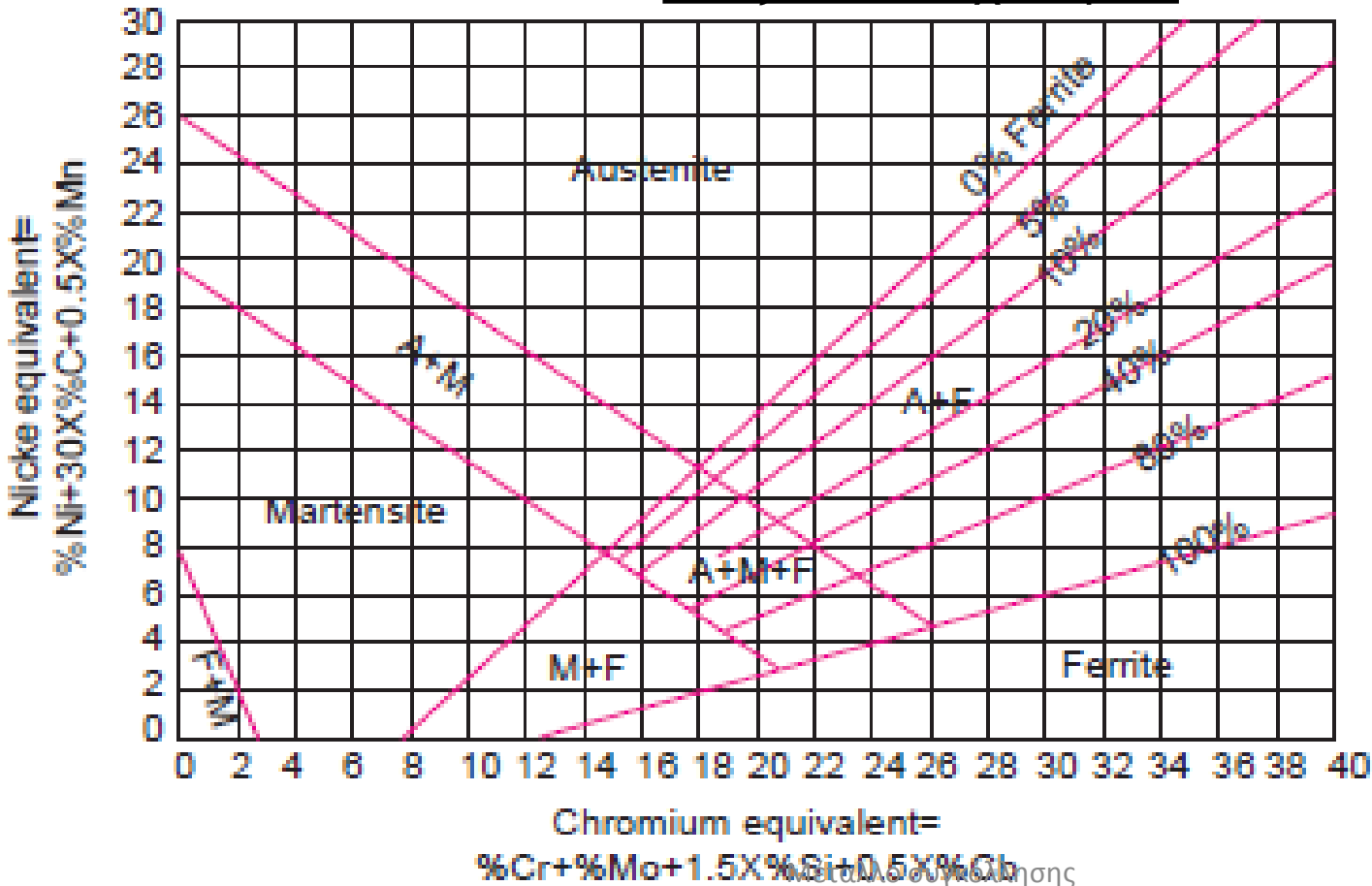
THERMO-CALC (2009.05.06:10.26):
DATABASE:SSOL
W(Fe)=7.4E-1,N=1., P=100000;



Σχήμα 19: Ψευδοδιμερές διάγραμμα
74Fe-Cr-Ni (το βέλος δείχνει τον
χάλυβα 304: 18Cr-8Ni-74Fe)

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (10)

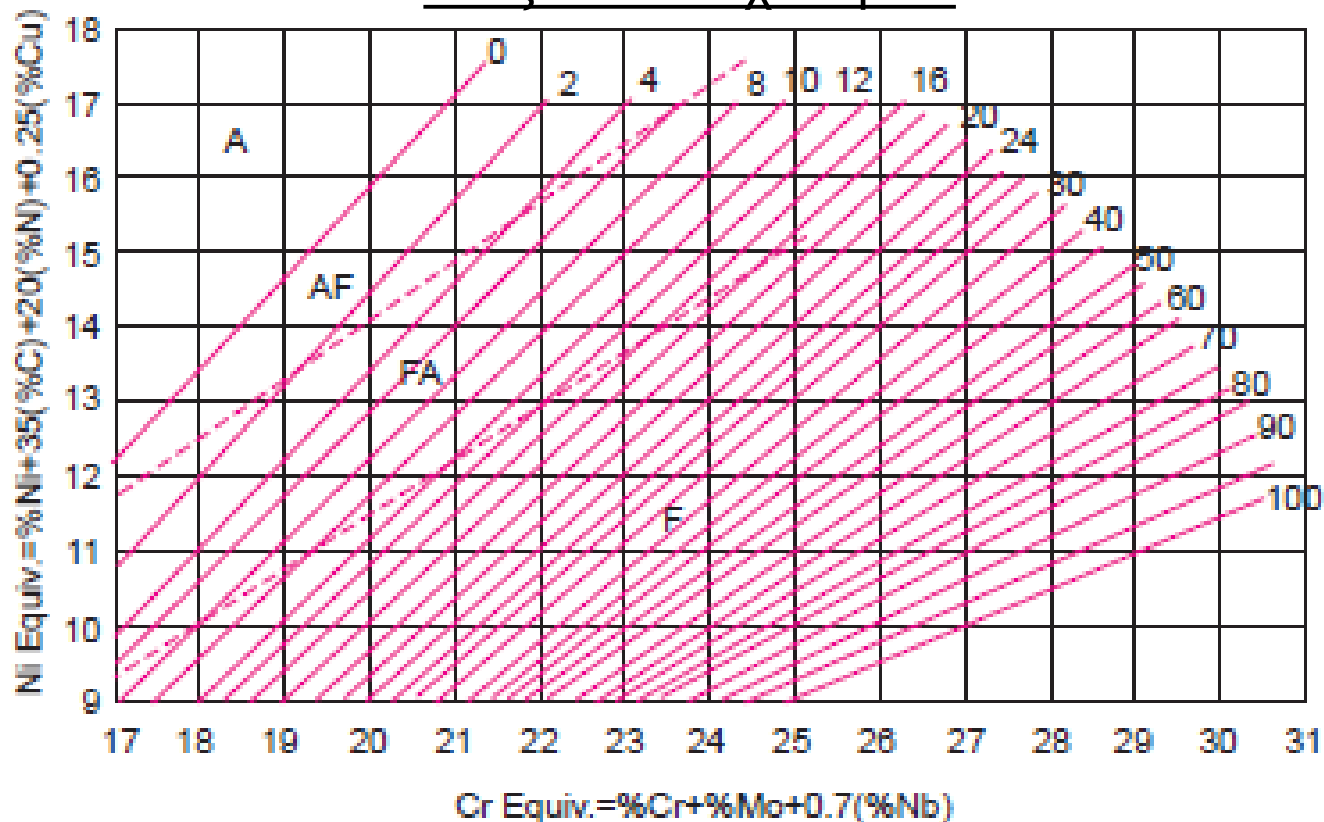
Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων



Σχήμα 20: Διάγραμμα Schaeffler

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (11)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων



Σχήμα 21: Διάγραμμα WRC-1992

Μέταλλο συγκόλλησης

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (12)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων

Πίνακας 1: Συγκολλητικά Υλικά για ωστενιτικούς ανοξείδωτους

Βασικό Μέταλλο	Συγκολλητικό Υλικό (ER)
304	308
304L	347, 308L
316	316
316L	318, 316L
321	347
347	347

Μετασχηματισμοί κατά τη στερεοποίηση – Διαμόρφωση της τελικής μικροδομής 4 (13)

Μετασχηματισμοί στο μέταλλο συγκόλλησης των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων

Πίνακας 1: Χημική Σύσταση Συγκολλητικών Υλικών

Συγκολλητικό Υλικό	C	Cr	Ni	Mo	Άλλο
ER308	0.08max	19.5-22	9-11		
ER308L	0.03max	19.5-22	9-11		
ER316	0.08max	18-20	11-14	2-3	
ER316L	0.03max	18-20	11-14	2-3	
ER321	0.08max	18.5-20.5	9-10.5	0.5	Ti
ER347	0.08max	19-21.5	9-11		Nb+Ta