

Επιστήμη και Τεχνολογία

Συγκολλήσεων

Ενότητα 7: Θερμοεπηρεασμένη Ζώνη

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

- Περιγραφή της ΘΕΖ
- Μικροδομή και ιδιότητες της ΘΕΖ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή
2. Η ΘΕΖ στους ανθρακοχάλυβες
3. Η ΘΕΖ στους χαμηλά κραματωμένους χάλυβες βαφής και επαναφοράς
4. Ψυχρή ρηγματώση
5. Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση
6. Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου

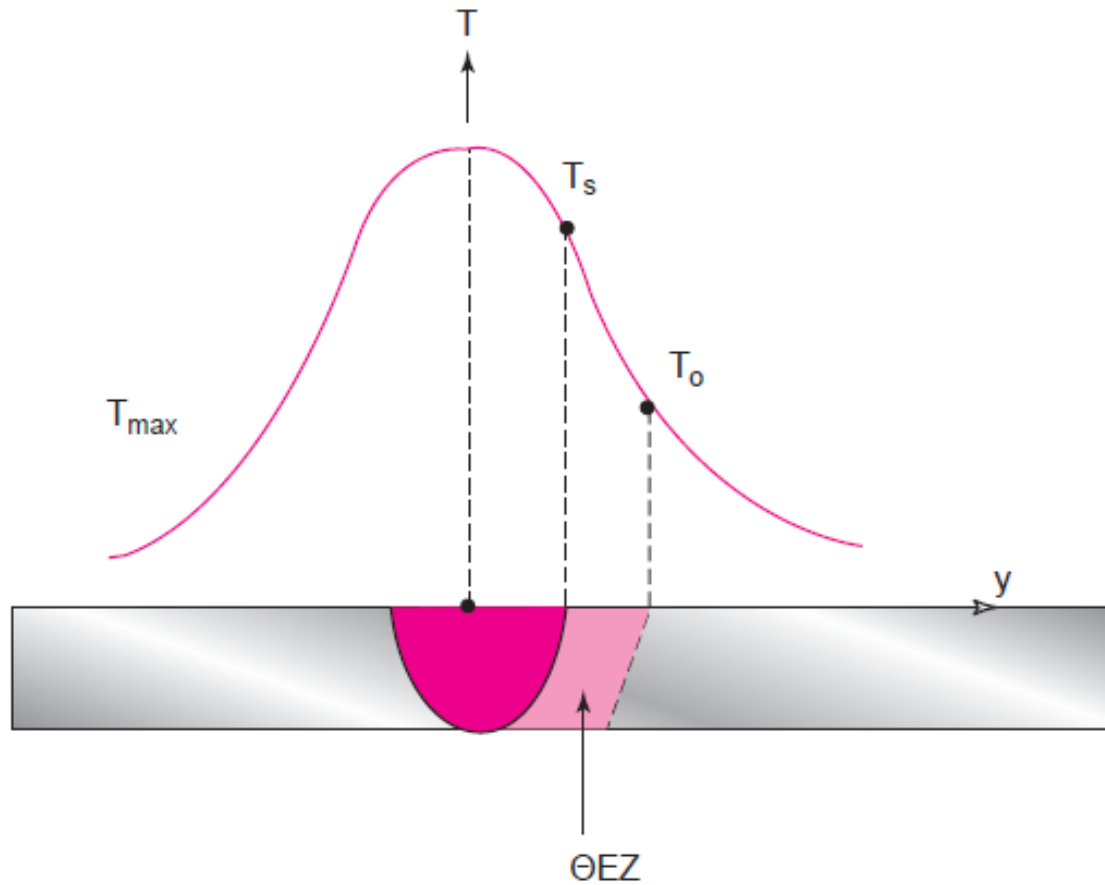
Ενότητα 1: Η θερμοεπηρεασμένη Ζώνη

Εισαγωγή 1 (1)

Η θερμοεπηρεασμένη ζώνη είναι η περιοχή του βασικού μετάλλου που δεν τήκεται κατά τη συγκόλληση και της οποίας η μικροδομή και οι μηχανικές ιδιότητες τροποποιούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Η τροποποίηση των ιδιοτήτων αφορά κυρίως στις εξής επιδράσεις:

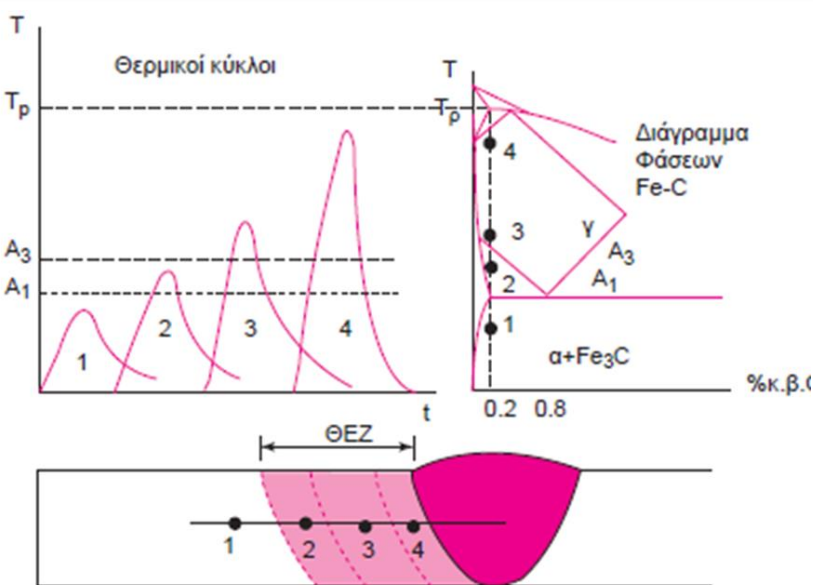
- Μείωση της μηχανικής αντοχής
- Μείωση της δυσθραυστότητας και ολκιμότητας
- Μείωση της αντοχής στη διάβρωση

Η σημασία των συγκολλήσεων 1 (2)



Σχήμα 1: Ορισμός της θερμοεπηρεασμένης ζώνης (ΘEZ) στις συγκολλήσεις

Η ΘΕΖ στους ανθρακοχάλυβες 2 (1)



1: Βασικό Μέταλλο

2: Μερική εκλέπτυνση κόκκων

3: Πλήρης εκλέπτυνση κόκκων

4: Μεγέθυνση κόκκων

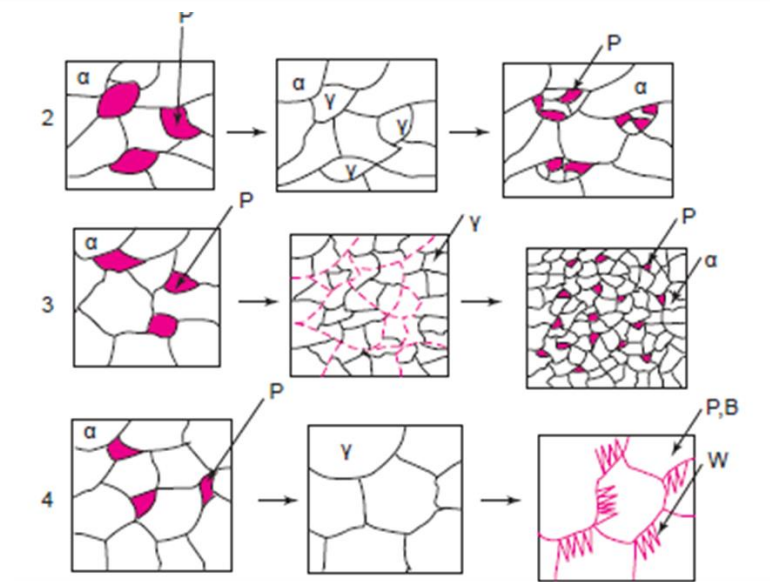
α : Φερρίτης

P: Περγλίτης

γ : Ωστενίτης

B: Μπαϊνίτης

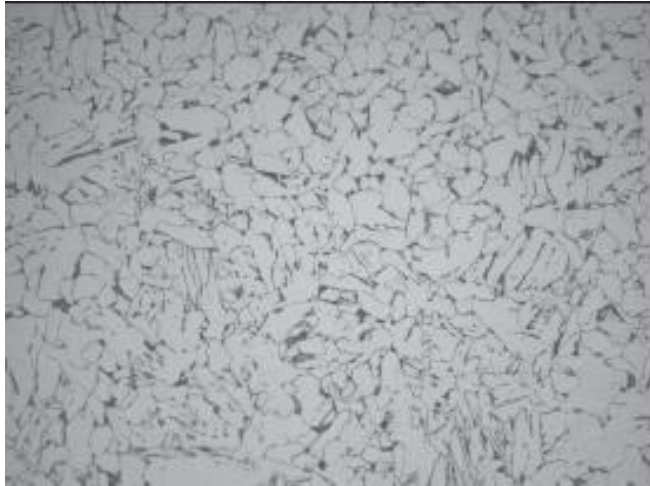
W: Φερρίτης Widmanstätten



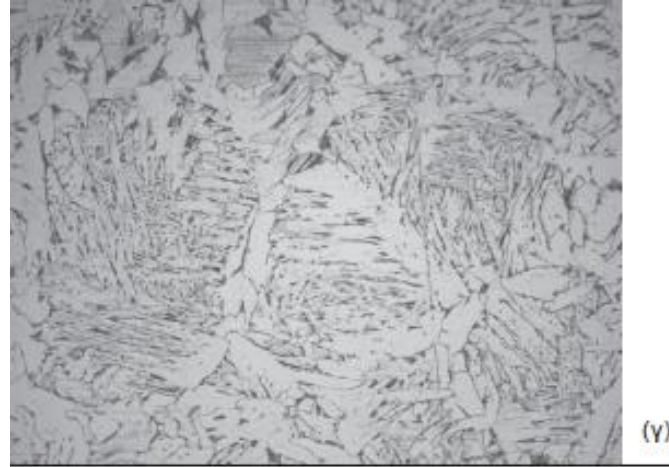
Ανθρακοχάλυβες είναι οι χάλυβες οι οποίοι εκτός του άνθρακα, Mn (<1.6%), και Si (<0.6κ.β). Τους διακρίνουμε σε χάλυβες χαμηλής(0,2%C) μεσαίας (0.2-0.5%) και υψηλής (0,5-1%) περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Σχήμα 2: Θερμικοί κύκλοι, διάγραμμα φάσεων και διαμόρφωση μικροδομών στην ΘΕΖ ανθρακοχαλύβων

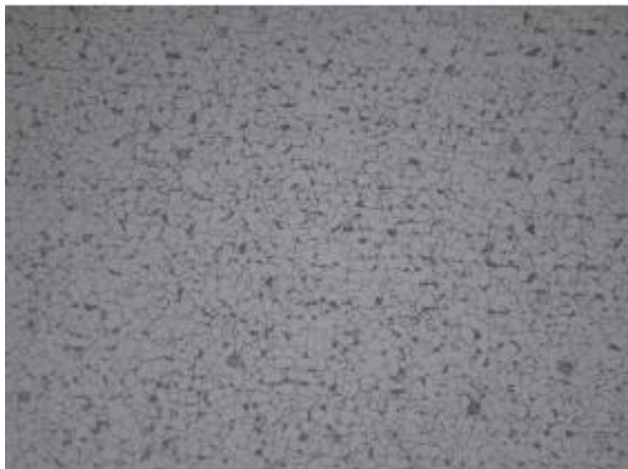
Η ΘΕΖ στους ανθρακοχάλυβες 2 (2)



(α)



(γ)

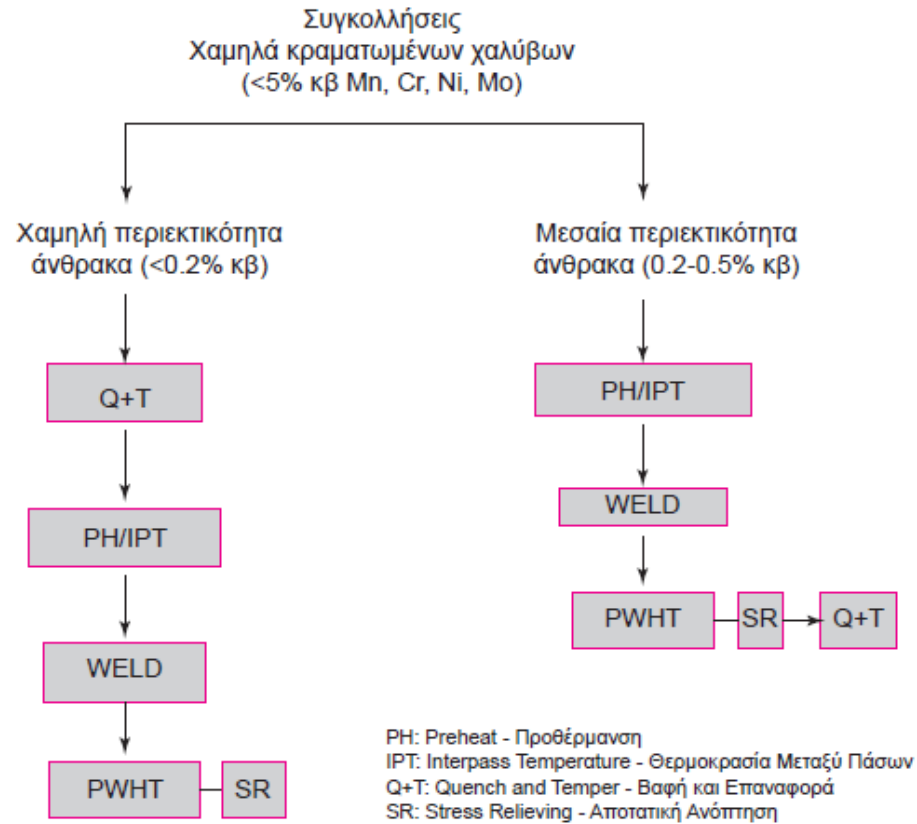


(β)

Σχήμα 3: Μικροδομές στη ΘΕΖ ανθρακοχάλυβα St35 (0.18%C) (α) βασικό μέταλλο, (β) ζώνη πλήρους εκλέπτυνσης κόκκων, (γ) ζώνη μεγέθυνσης κόκκων με σχηματισμό φερρίτη Widmanstaetten στα σύνορα και μπαινίτη στο εσωτερικό των κόκκων

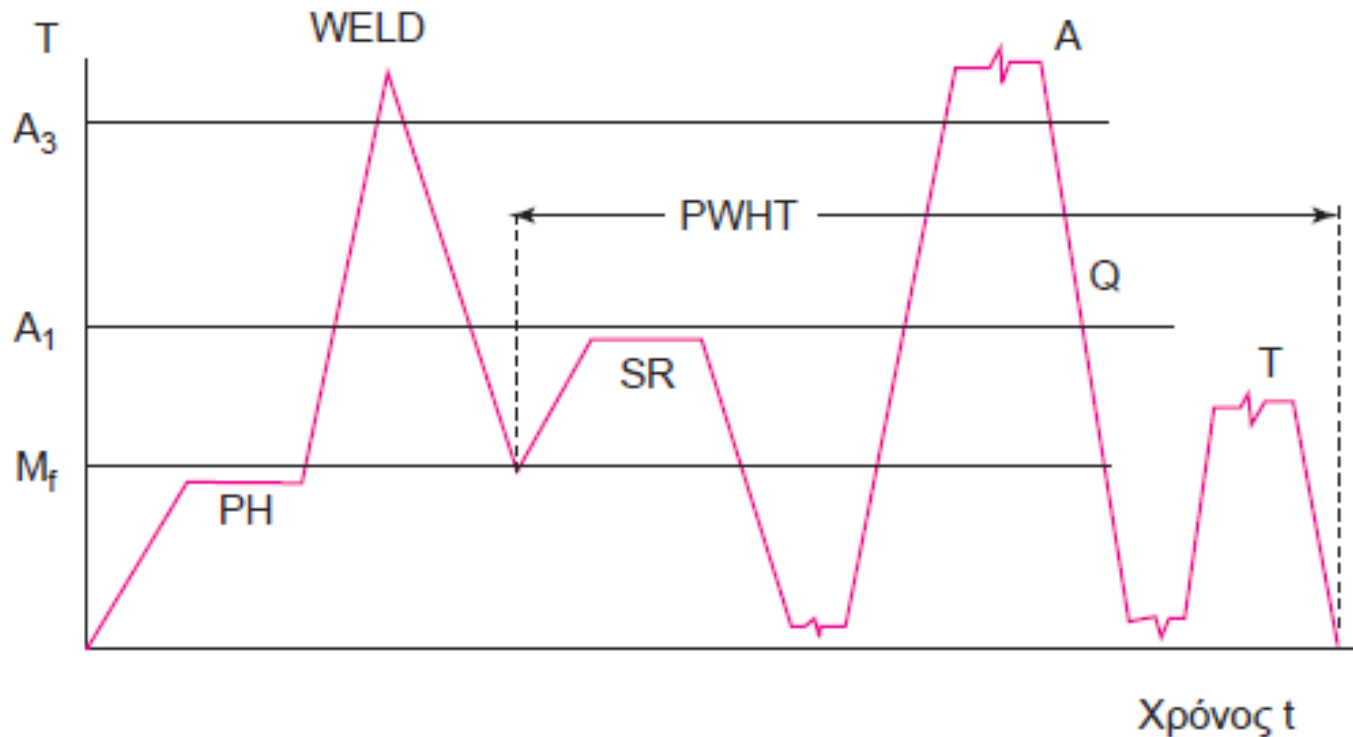
Η θερμοεπηρεασμένη ζώνη

Η ΘΕΖ στους χαμηλά κραματωμένους χάλυβες βαφής και επαναφοράς 3 (1)



Σχήμα 4: Διαδικασίες συγκόλλησης χαμηλά-κραματωμένων χαλύβων

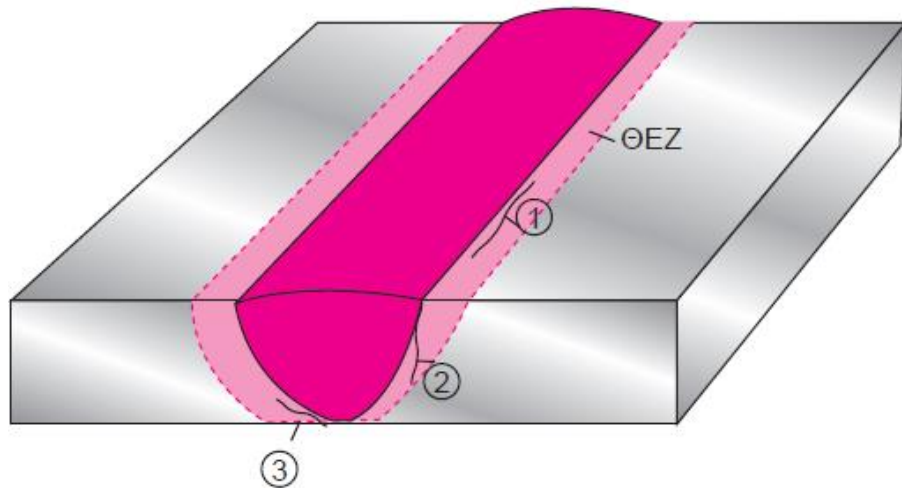
Η ΘΕΖ στους χαμηλά κραματωμένους χάλυβες βαφής και επαναφοράς 3 (2)



Σχήμα 5: Διαδικασία συγκόλλησης και θερμικής κατεργασίας χαμηλά-κραματωμένου χάλυβα με μεσαία περιεκτικότητα σε άνθρακα

Ψυχρή Ρηγμάτωση 4 (1)

Η ψυχρή ρηγμάτωση είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των συγκολλήσεων στους ανθρακοχάλυβες και στους χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης με μεσαία και ηψυλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.



Σχήμα 6: Ψυχρή ρηγμάτωση στη ΘΕΖ συγκόλλησης: (1) θέση κάτω από τη ραφή (underbead cracking), (2) θέση στον πόδα (toe cracking), (3) θέση στη ρίζα (root cracking)

Αναφέρεται επίσης ως ρηγμάτωση υδρογόνου ή ψαθυροποίηση υδρογόνου λόγω του σημαντικού ρόλου που παίζει το υδρογόνο στην εμφάνισή της αλλά και ως καθυστερούμενη ρηγμάτωση λόγω του χρόνου που μεσολαβεί από τη συγκόλληση μέχρι την εμφάνισή της ο οποίος μπορεί να φτάσει 5-7 μέρες

Ψυχρή Ρηγμάτωση 4 (3)

Κατά τη συγκόλληση τα κυριότερα μέτρα είναι η προθέρμανση, ο έλεγχος της θερμοκρασίας μεταξύ των πάσων και οι θερμικές κατεργασίες μετά τη συγκόλληση. Η επιλογή της θερμοκρασίας προθέρμανσης εξαρτάται από τη χημική σύσταση του βασικού μετάλλου

Ισοδύναμο άνθρακα CE

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Η συνήθης πρακτική είναι να επιλέγεται η θερμοκρασία προθέρμανσης με βάση το ισοδύναμο άνθρακα, το οποίο εκφράζει κατά κάποιο τρόπο την εμβαπτότητα του χάλυβα.

Πίνακας 1: Θερμοκρασίες προθέρμανσης

Ισοδύναμο άνθρακα CE	Συνιστώμενη Θερμοκρασία Προθέρμανσης
<0.45	Δεν συνιστάται
0.45 – 0.60	90-200°C
>0.60	200-400°C

Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση 5(1)

Πίνακας 2: Τυπικές χημικές συστάσεις ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων

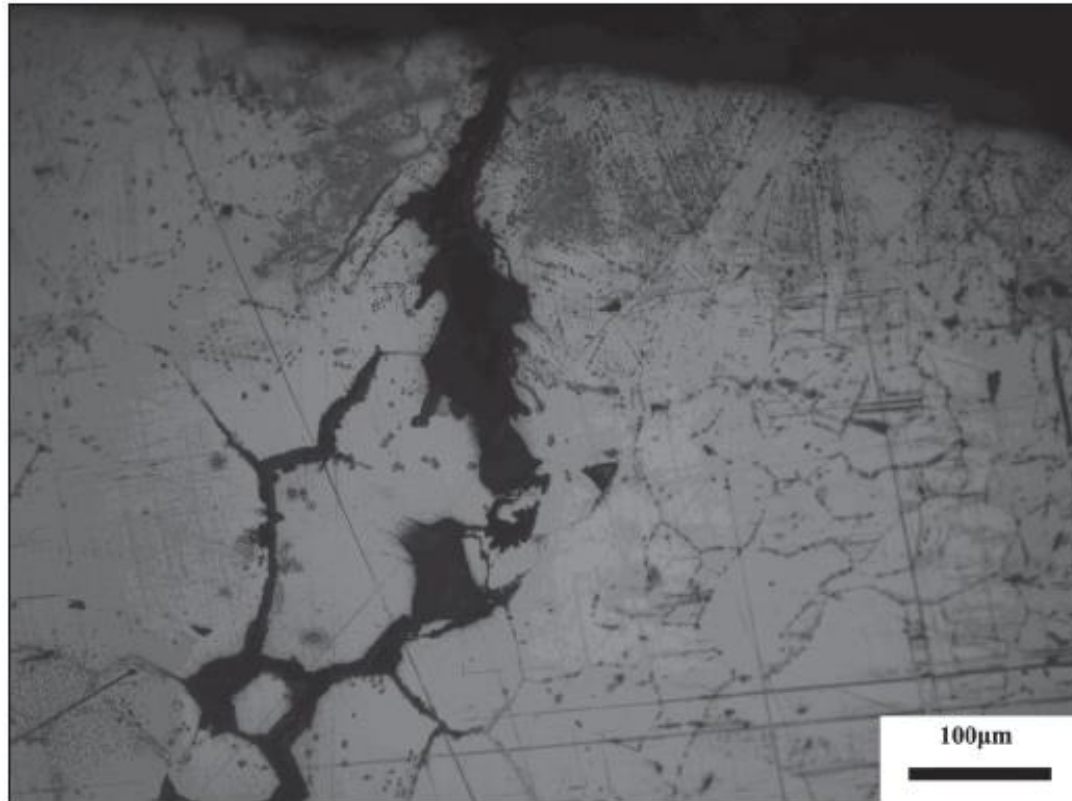
Χάλυβας κατά AISI	C	Mn	Cr	Ni	Άλλο
301	0.15max	2	16-18	6-8	
304	0.08max	2	18-20	8-12	
304L	0.03max	2	18-20	8-12	
309	0.2max	2	22-24	12-15	
310	0.25max	2	24-26	19-22	
316	0.08max	2	16-18	10-14	2-3% Mo
316L	0.03max	2	16-18	10-14	2-3% Mo
321	0.08max	2	17-19	9-12	(5 x %C) Ti min
347	0.08max	2	17-19	9-13	(10 x %C)Nb-Ta min

Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση 5(2)

Η αντιμετώπιση της ευαισθητοποίησης στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες γίνεται με 3 τρόπους

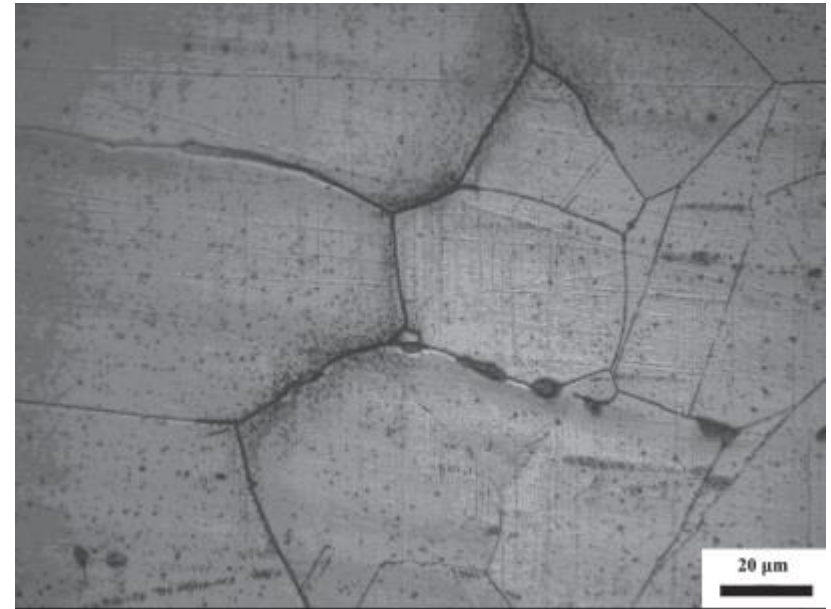
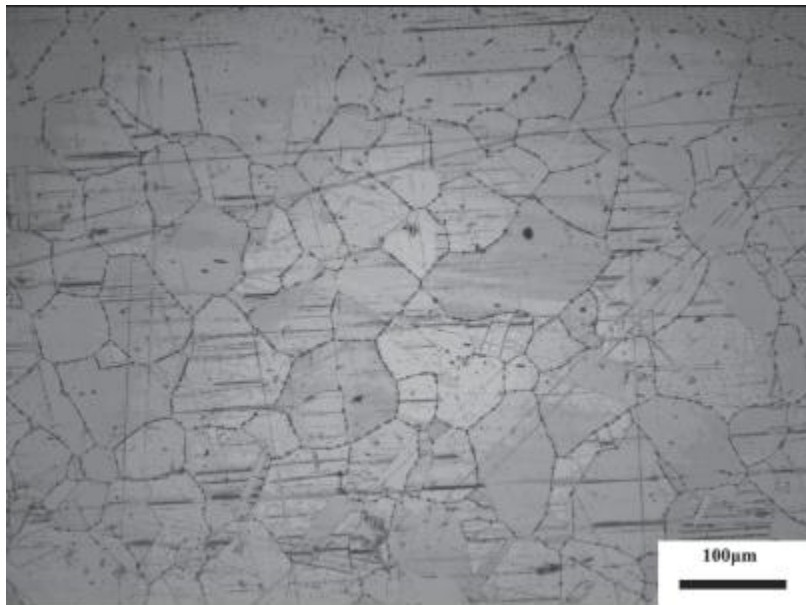
1. Θερμική κατεργασία μετά τη συγκόλληση
2. Χρήση χαλύβων με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα
3. Προσθήκη καρβιδιογόνων στοιχείων Ti και Nb, τα οποία σχηματίζουν ευκολότερα καρβίδια (TiC και NbC) από το Cr.

Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση 5(3)



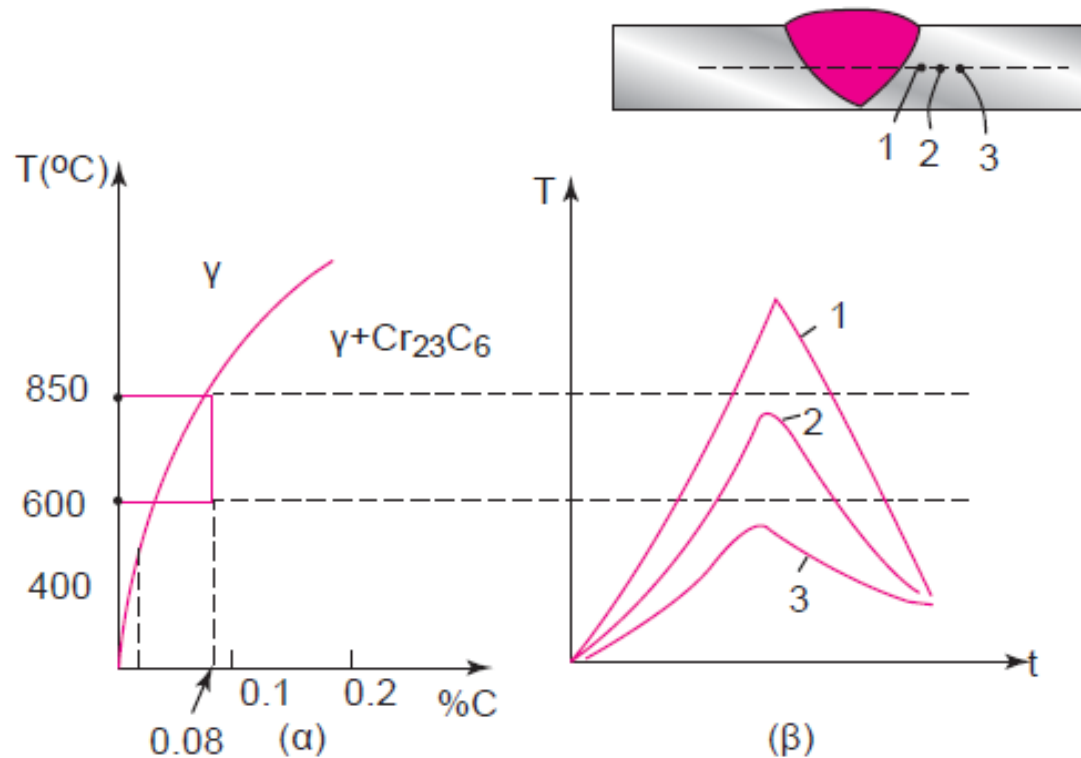
Σχήμα 8: Περικρυσταλλική διάβρωση και ρηγμάτωση στη ΘΕΖ συγκόλλησης ανοξειδωτου χάλυβα 304

Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση 5(4)



Σχήμα 9: Ευαισθητοποίηση στη ΘΕΖ συγκόλλησης ανοξείδωτου χάλυβα 304: (α) διακριτά καρβίδια (β) συνεχές φιλμ καρβιδίου στα σύνορα των κόκκων

Η ΘΕΖ στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες – Ευαισθητοποίηση 5(5)



Σχήμα 10: (α) Καμπύλη solvus για το καρβίδιο Cr_{23}C_6 σε χάλυβα 304, (β) Θερμικοί κύκλοι συγκόλλησης. Ο κύκλος No.2 ευρίσκεται μέσα στο θερμοκρασιακό εύρος ευαισθητοποίησης

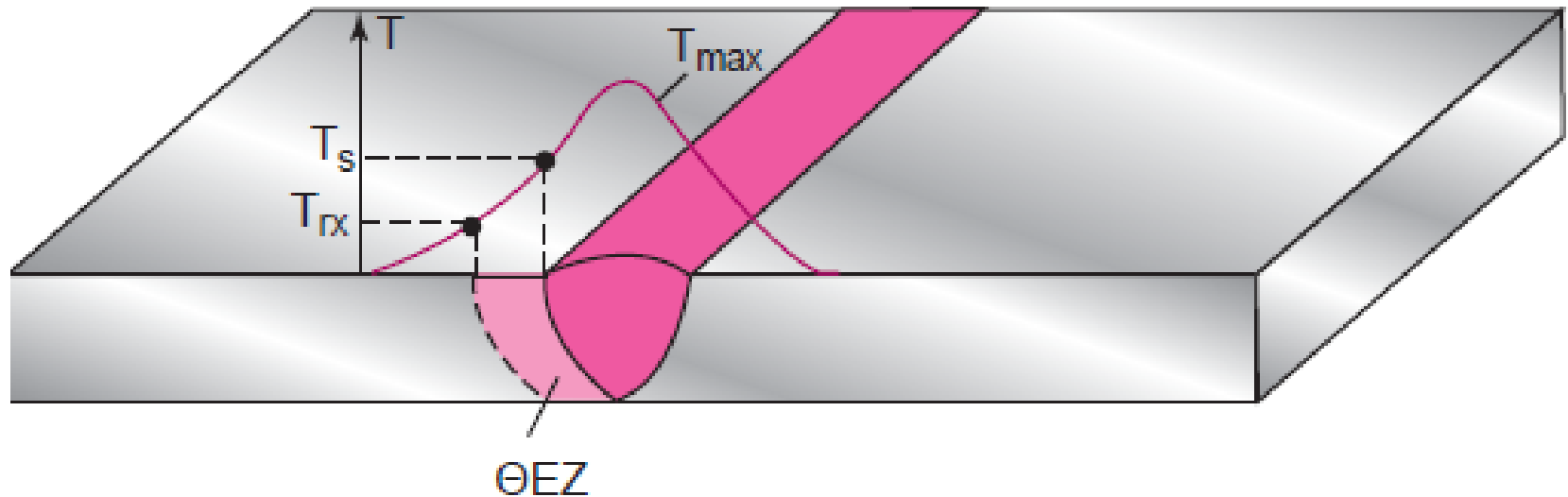
Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (1)

Τα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, αυτά που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία. Ως θερμική κατεργασία εννοούμε την κατεργασία γήρανσης (φυσικής ή τεχνητής) μέσω της οποίας τα κράματα ισχυροποιούνται.

Πίνακας 3: Οι σειρές των κραμάτων αλουμινίου

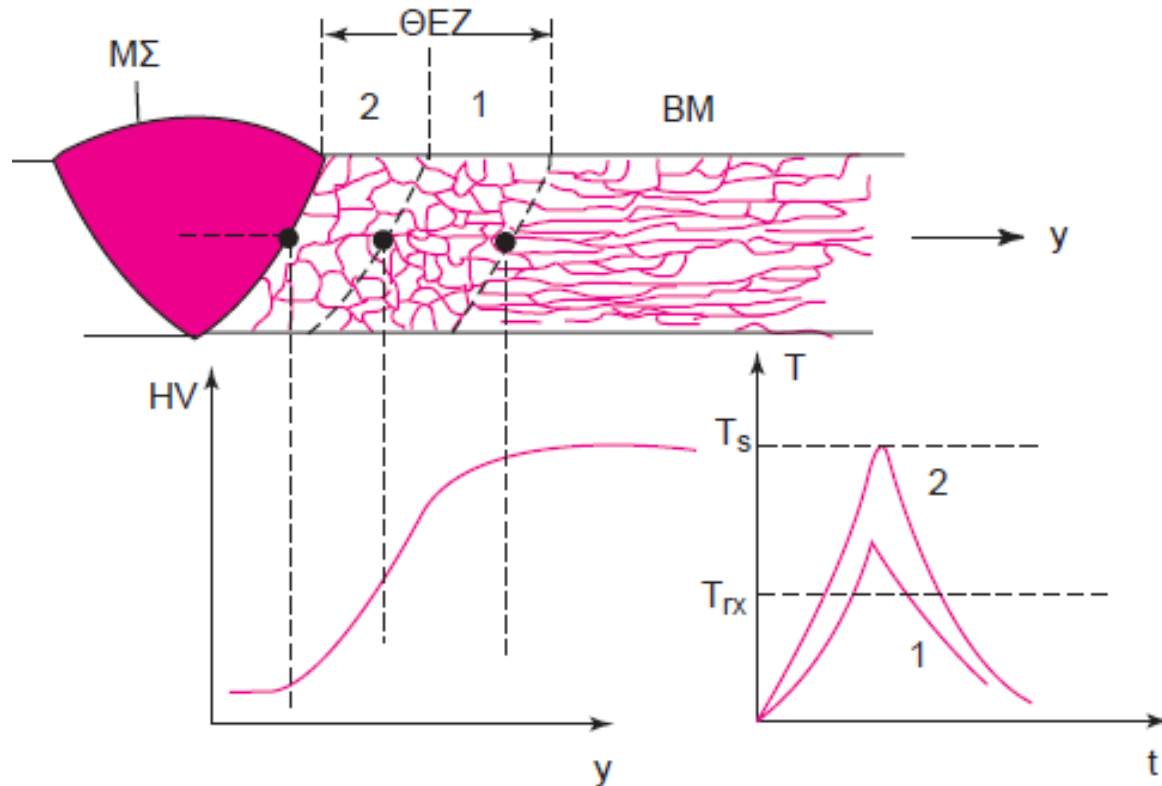
Μη-επιδεχόμενα θερμική κατεργασία		Επιδεχόμενα θερμική κατεργασία	
1xxx	Al	2xxx	Al-Cu-Mg
3xxx	Al-Mn	6xxx	Al-Mg-Si
4xxx	Al-Si	7xxx	Al-Zn
5xxx	Al-Mg		

Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (2)



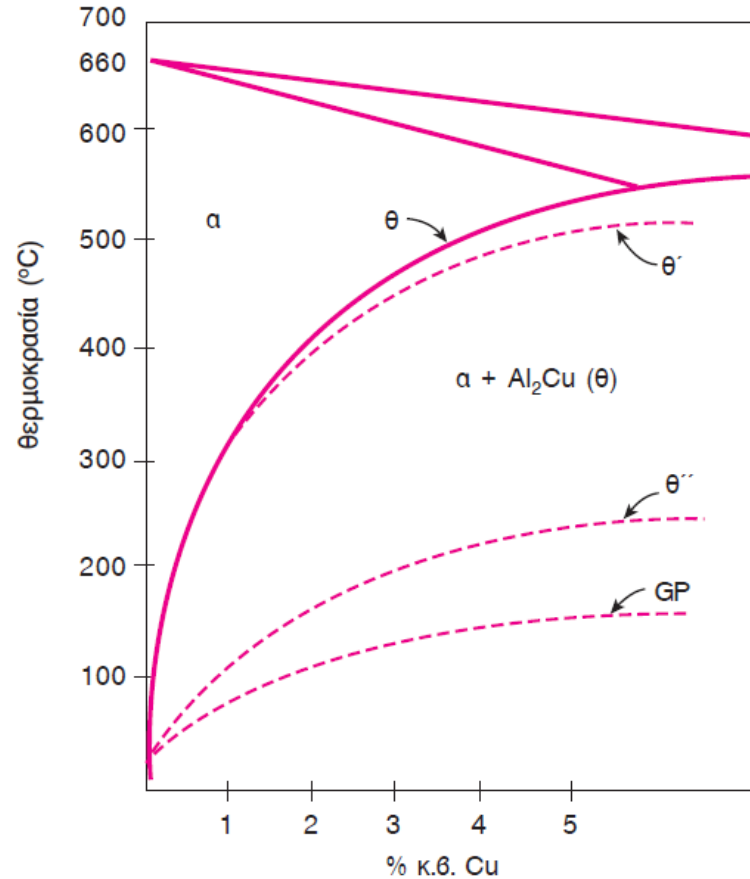
Σχήμα 11: Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις ψυχρηλατημένων κραμάτων αλουμινίου ($T_{rx} < T_{max} < T_s$)

Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (3)



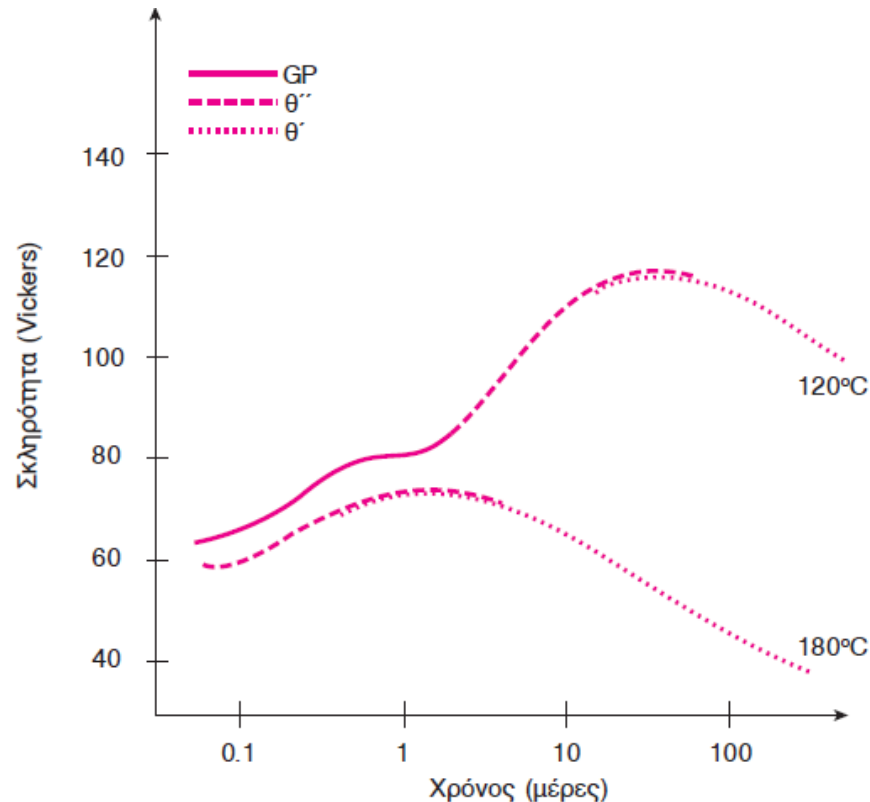
Σχήμα 12: Οι δύο ζώνες στη ΘΕΖ ψυχρηλατημένων κραμάτων αλουμινίου: ΘΕΖ₁ ανακρυστάλλωση, ΘΕΖ₂ μεγέθυνση κόκκων

Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (4)



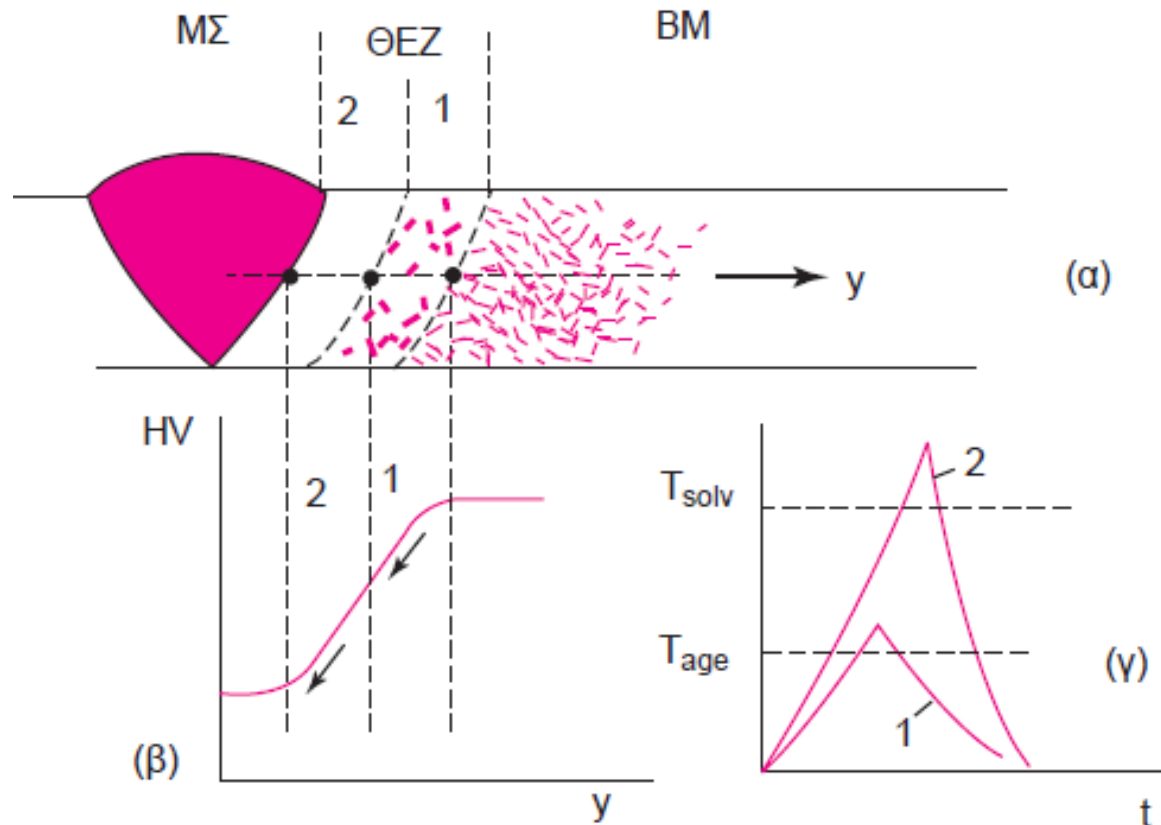
Σχήμα 13: Διάγραμμα φάσεων Al-Cu με τις μετασταθείς φάσεις

Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (5)



Σχήμα 14: Καμπύλες γήρανσης για θερμοκρασίες 120 και 180°C

Η ΘΕΖ στις συγκολλήσεις των κραμάτων αλουμινίου 6 (6)



Η ΘΕΖ στα κράματα αλουμινίου που επιδέχονται θερμική κατεργασία (π.χ Al-Cu).
ΘΕΖ₁: υπεργήρανση από διεύρυνση, ΘΕΖ₂: διαλυτοποίηση φάσης θ. (α) μικροδομή,
(β) προφίλ σκληρότητας, (γ) θερμικοί κύκλοι