

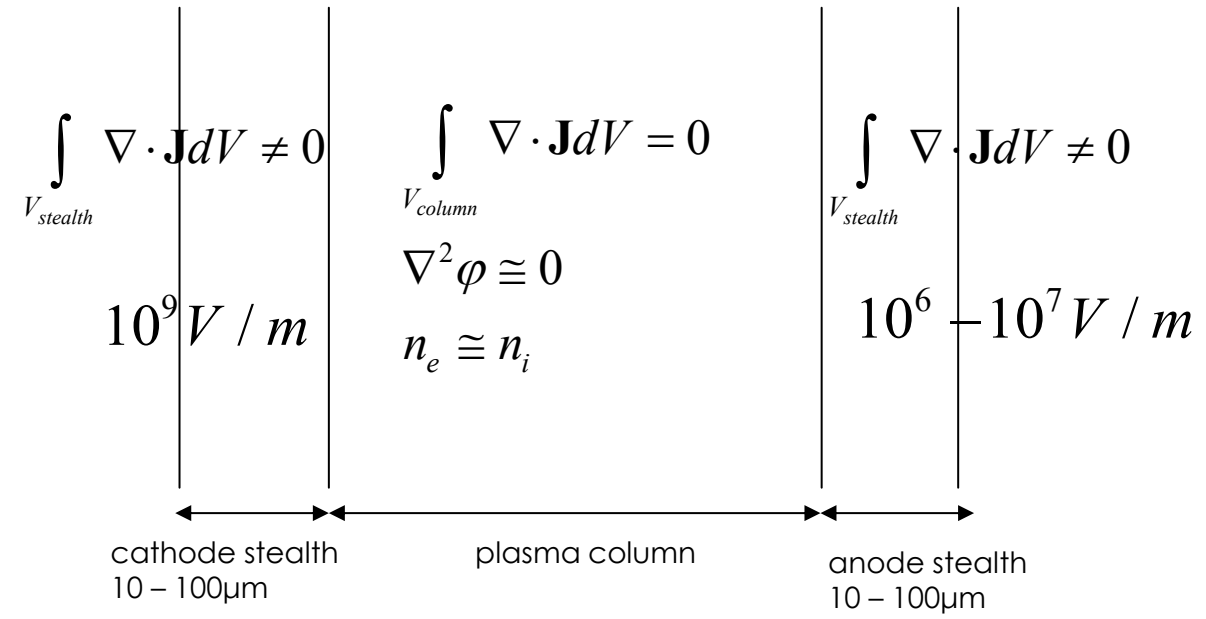
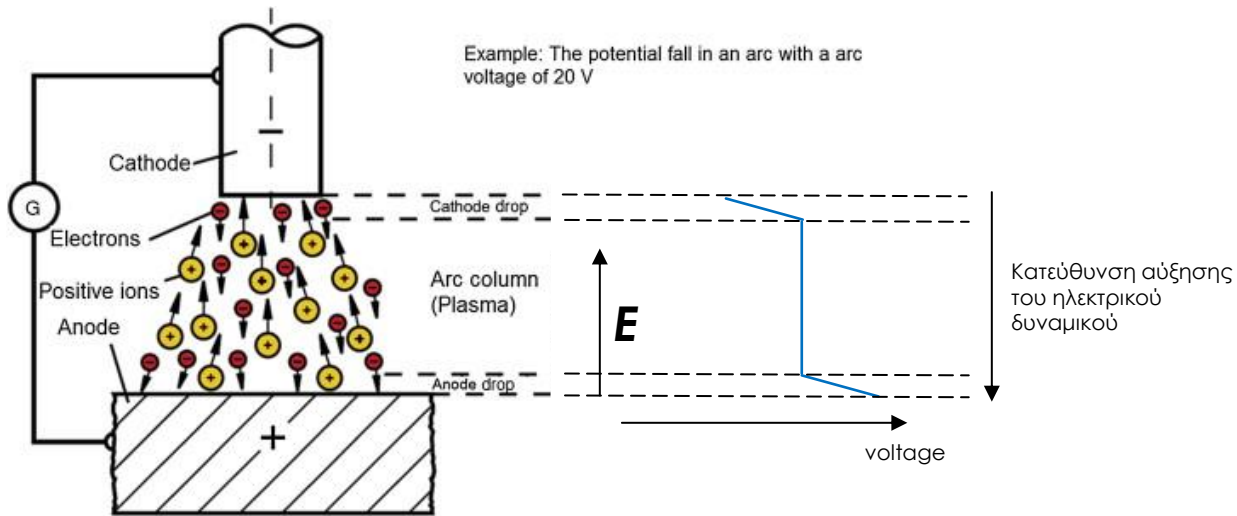
Συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου I – Χαρακτηριστικές καμπύλες τόξου και μηχανών συγκόλλησης – Μεταφορά μάζας υλικού

ΔΙΔΑΣΚΕΙΝ 3

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή – Ανασκόπηση προηγούμενου μαθήματος
- Χαρακτηριστικές καμπύλες τόξου και μηχανών συγκόλλησης
- Μεταφοράς μάζας από το ηλεκτρόδιο

Ηλεκτρικό τόξο συγκολλήσεων



Ηλεκτρικό τόξο συγκολλήσεων

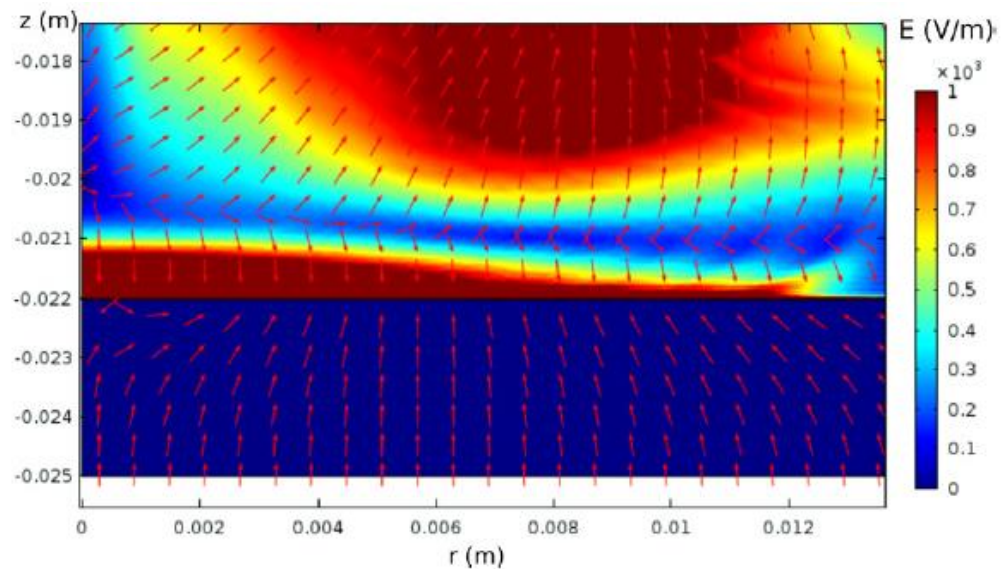
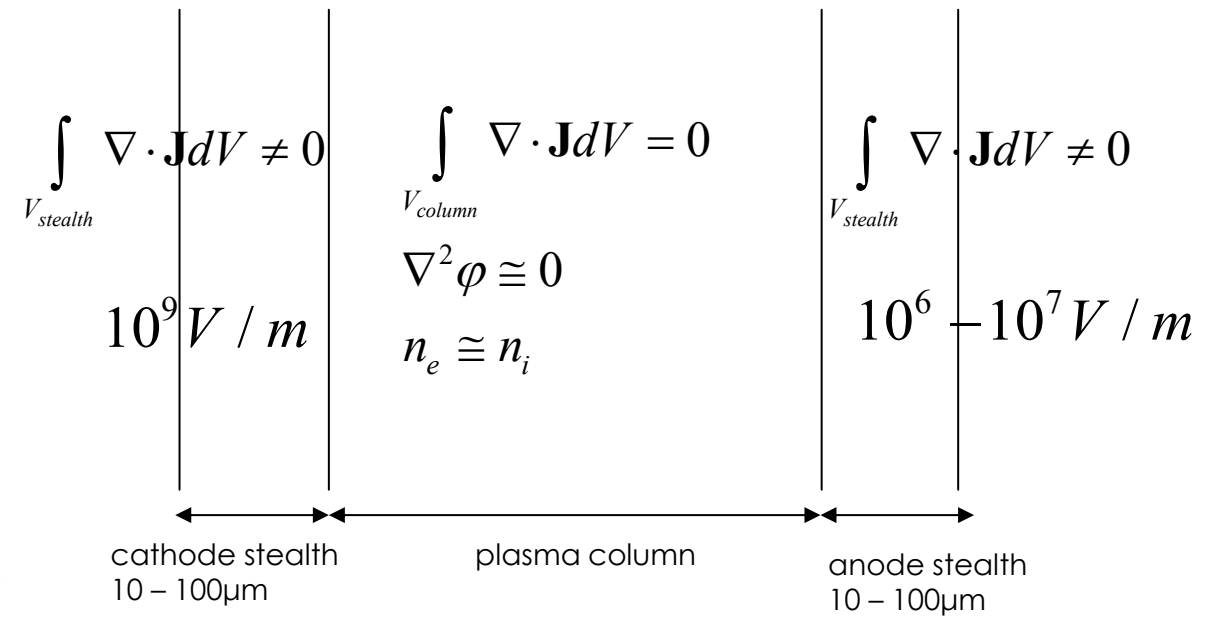
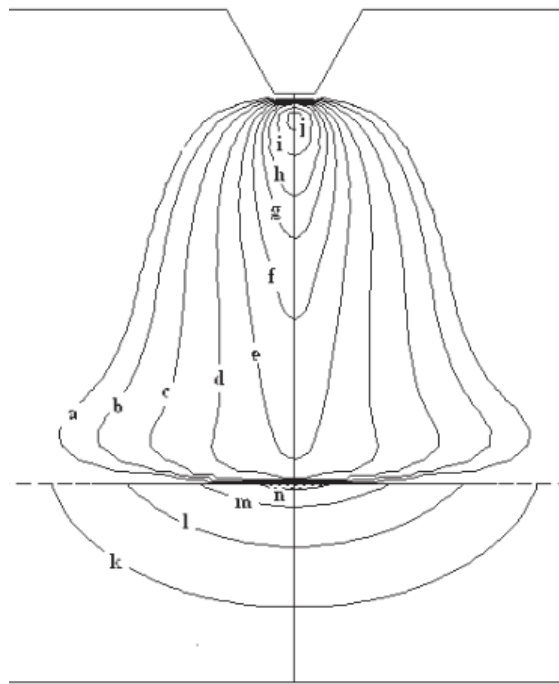


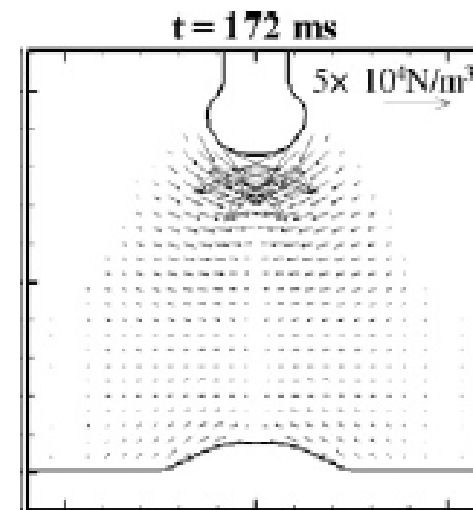
Figure 5. Magnitude of the electric field and normalized vectors in the vicinity of the anode. Arc current: 200 A.



Σχήμα τόξου



isotherms within an argon plasma ($I = 200$ A) and a



Σχήμα τόξου

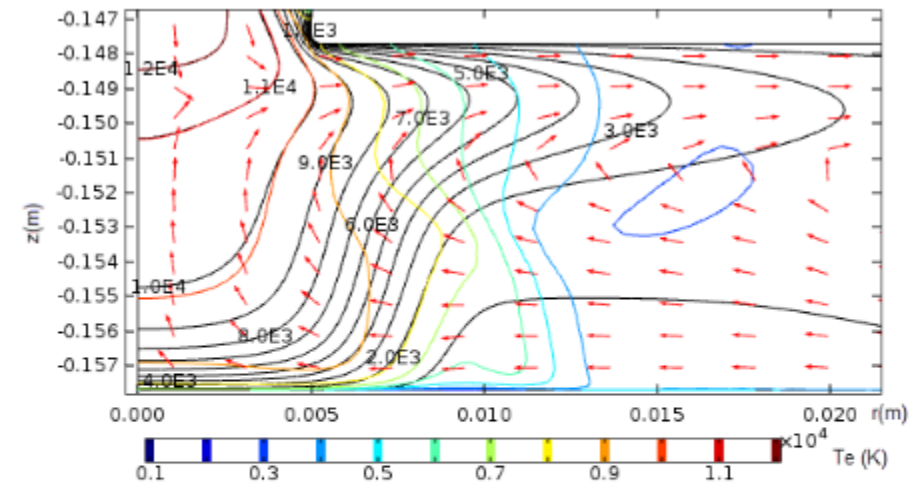


Figure 14. Iso-lines of temperatures in kelvin of heavy particles (black) and electrons (coloured) and normalized arrow indicators of the gas flow in the anode region of the arc at a gas flow rate of 1.3 slpm and an arc current of 200 A.

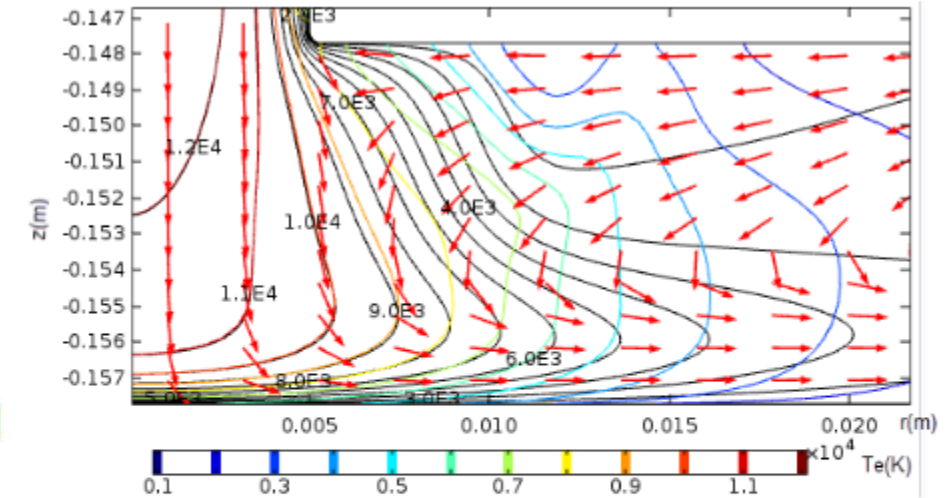
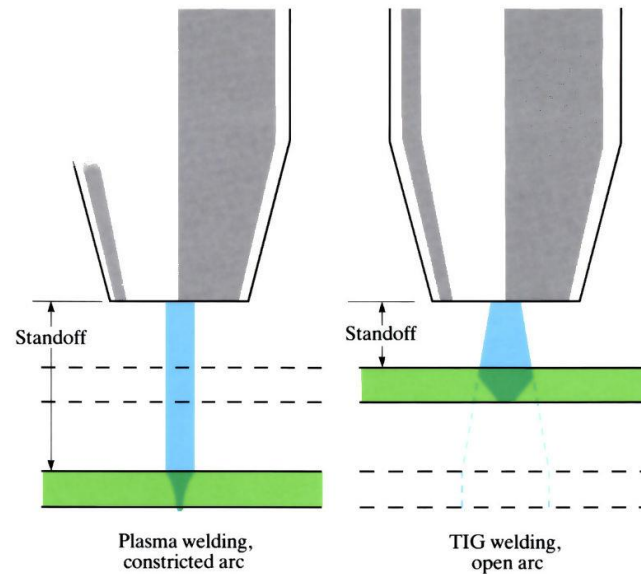


Figure 13. Iso-lines of temperatures in kelvin of heavy particles (black) and electrons (coloured) and normalized arrow indicators of the gas flow in the anode region of the arc at a gas flow rate of 4.5 slpm and an arc current of 200 A.

Μεταφορά ειδών στο τόξο τόξου

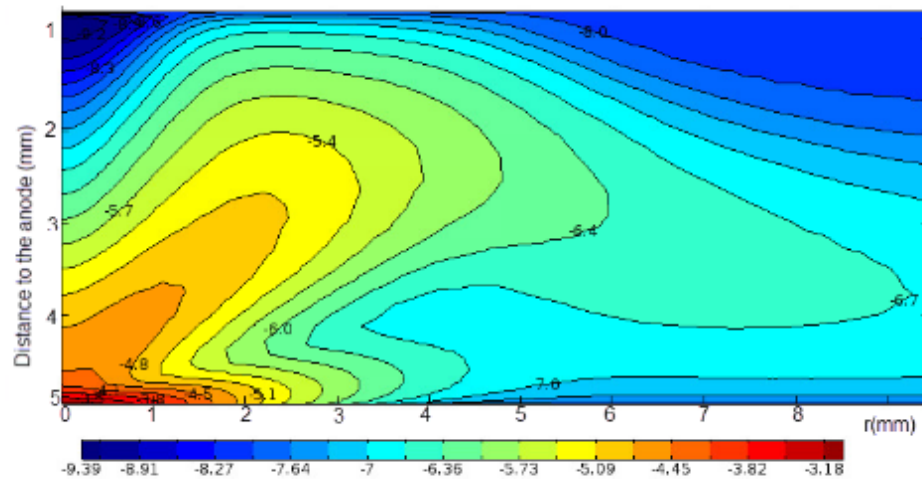


Figure 16. Mass fraction of iron atoms in the arc plasma at an arc current of 150 A and an inter-electrode distance of 5 mm. The presentation is in a logarithmic scale.

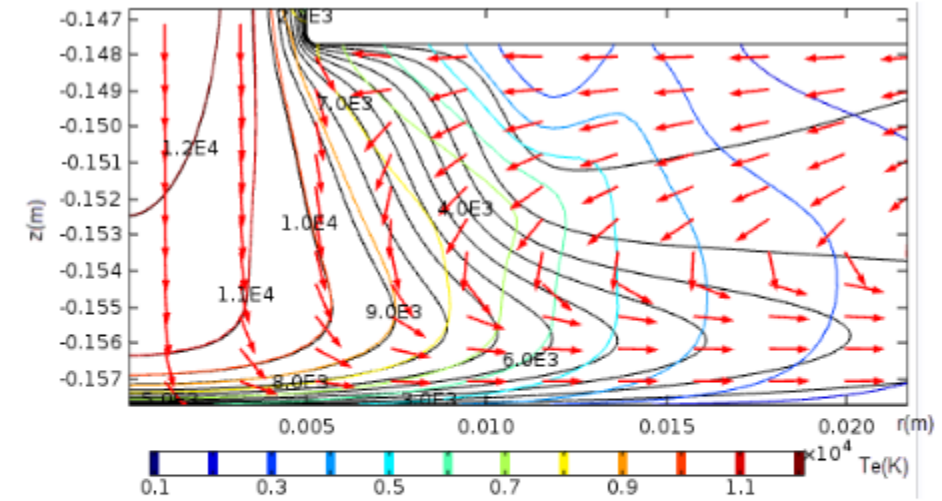


Figure 13. Iso-lines of temperatures in kelvin of heavy particles (black) and electrons (coloured) and normalized arrow indicators of the gas flow in the anode region of the arc at a gas flow rate of 4.5 slpm and an arc current of 200 A.

Μεταφορά ειδών στο τόξο τόξου

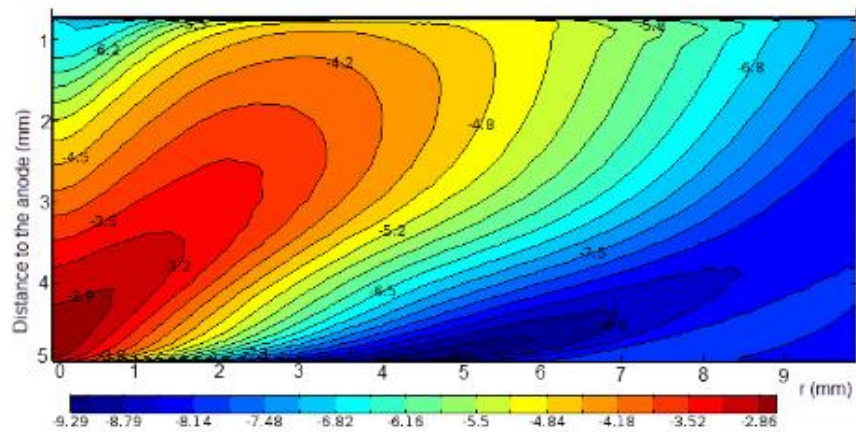


Figure 17. Mass fraction of iron ions in the arc plasma at an arc current of 150 A and an inter-electrode distance of 5 mm. The presentation is in logarithmic scale. The presentation is in a logarithmic scale.

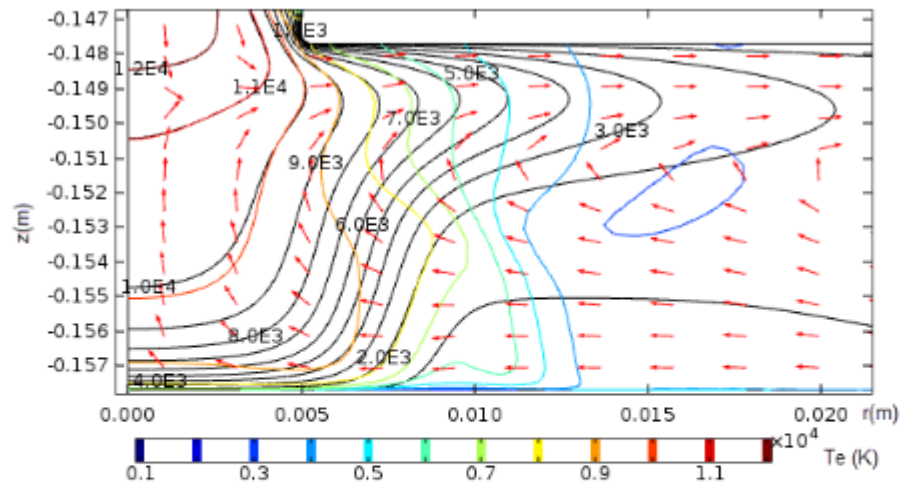
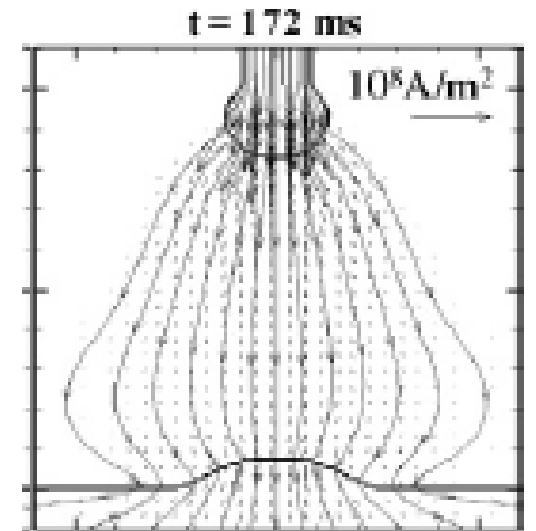
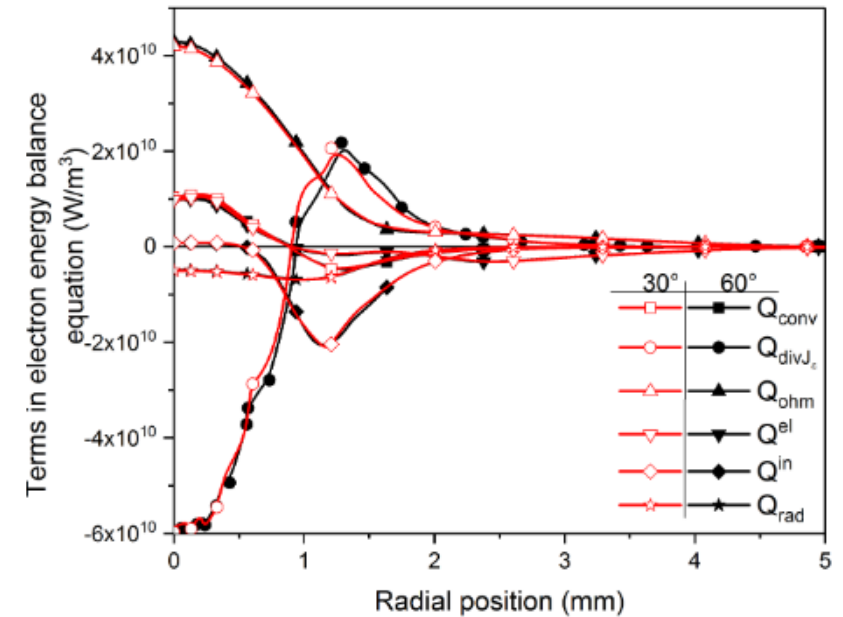
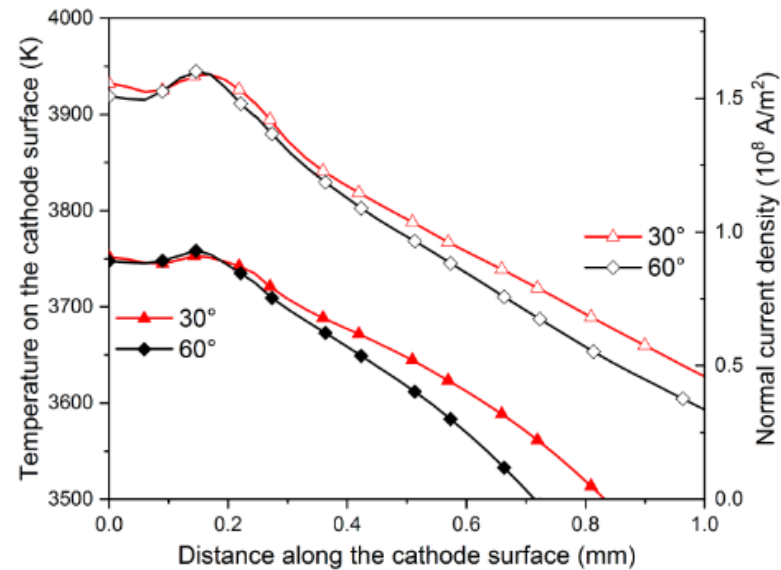
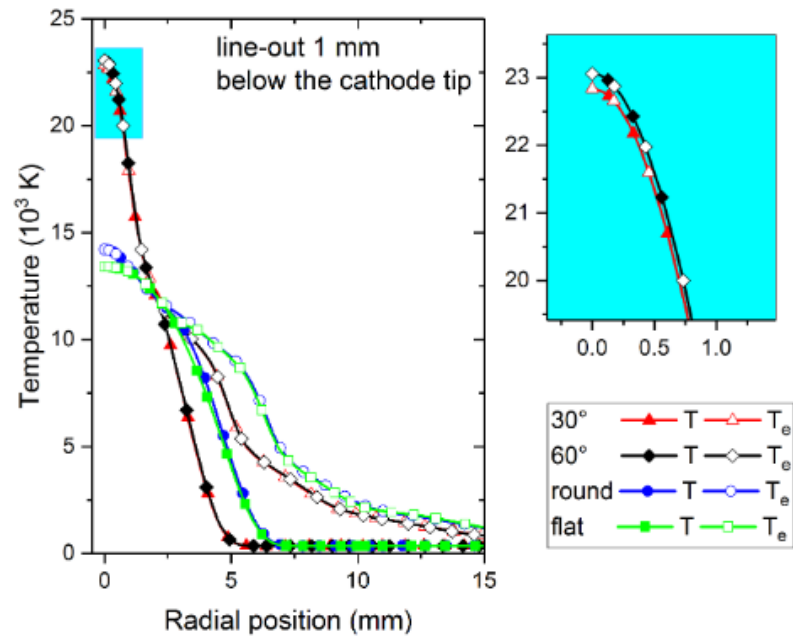


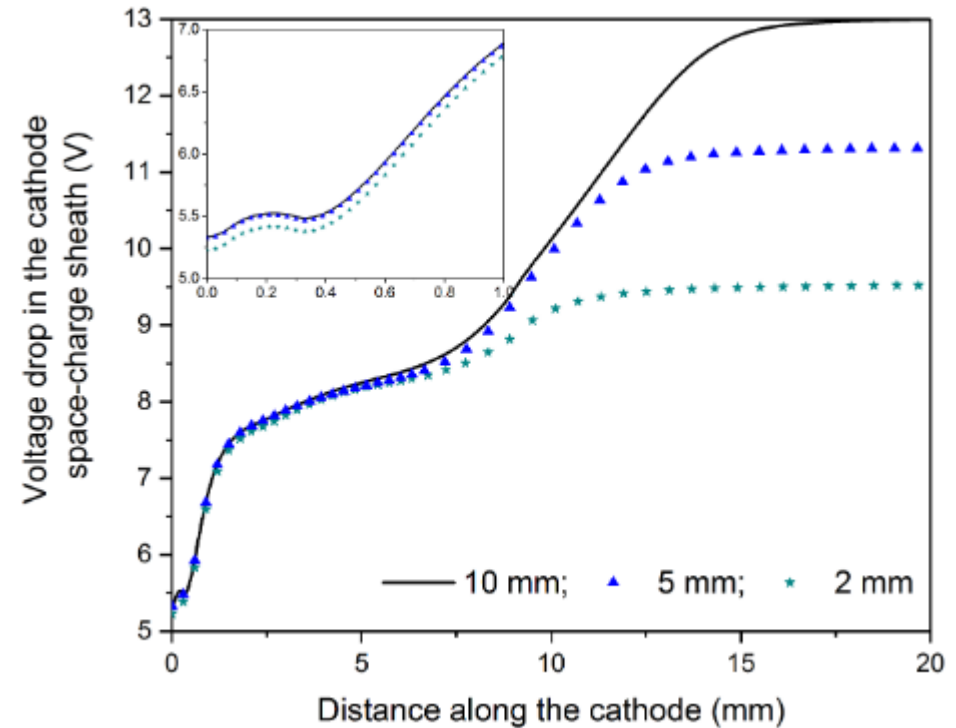
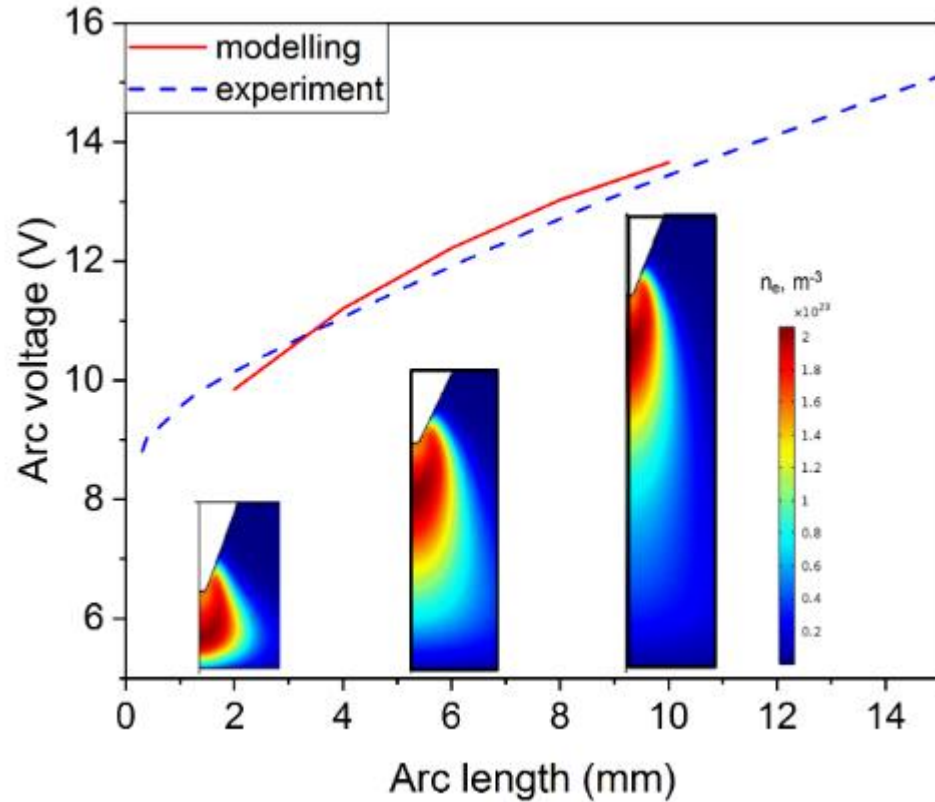
Figure 14. Iso-lines of temperatures in kelvin of heavy particles (black) and electrons (coloured) and normalized arrow indicators of the gas flow in the anode region of the arc at a gas flow rate of 1.3 slpm and an arc current of 200 A.



Ενέργεια κοντά στο ηλεκτρόδιο



Χαρακτηριστική καμπύλη τόξου



ΜΕΡΟΣ Α

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ
ΤΟΞΟΥ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Πηγές ρεύματος και πολικότητα

- ❑ Πηγές συνεχούς ρεύματος (DC)
 - Ορθή πολικότητα → αρνητικό ηλεκτρόδιο (ΣΡΗΑ)
 - Ανάστροφη πολικότητα → θετικό ηλεκτρόδιο (ΣΡΗΘ)
- ❑ Πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος
 - ❑ Η πολικότητα εναλλάσσετε περιοδικά έτσι συνδυάζουν τα θετικά στοιχεία των ΣΡΗΑ και ΣΡΗΘ

Χαρακτηριστικά DC πηγών

□ Πηγές συνεχούς ρεύματος με Ορθή πολικότητα (ΣΡΗΑ)

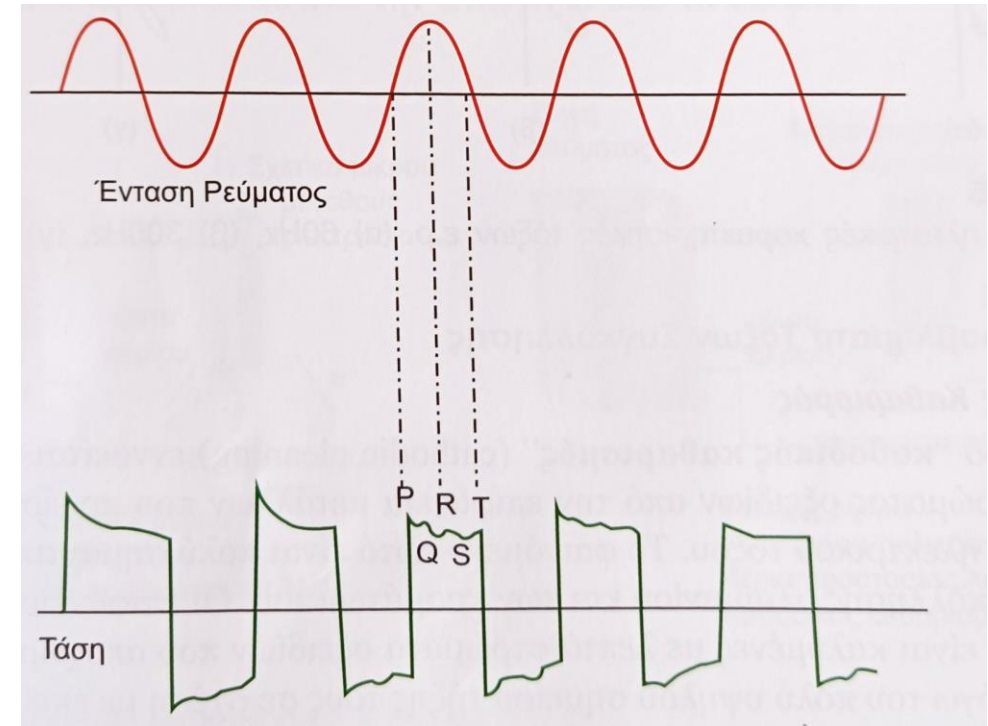
- Η θερμική ενέργεια εναποτίθεται στο τεμάχιο επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη διείσδυση
- Παράγοντας όμως μεγαλύτερη θερμοεπηρεζόμενη ζώνη (HAZ)
- Πολλή καλή σταθερότητα τόξου
- Ελεγχόμενη μεταφορά υλικού από το ηλεκτρόδιο

□ Πηγές συνεχούς ρεύματος με Ανάστροφη πολικότητα (ΣΡΗΘ)

- Η θερμική ενέργεια εναποτίθεται στο ηλεκτρόδιο
- Έτσι η θερμοεπηρεαζόμενη ζώνη είναι μικρότερη
- Όμως επιτυγχάνεται μικρότερη διείσδυση
- Η οξείδωση είναι μικρότερη, και διαλύεται από το βομβαρδισμό ιόντων
- Προτιμάται σε μέταλλα που παράγουν 'σταθερά, αδιάλυτα οξείδια π.χ. αλουμίνιο

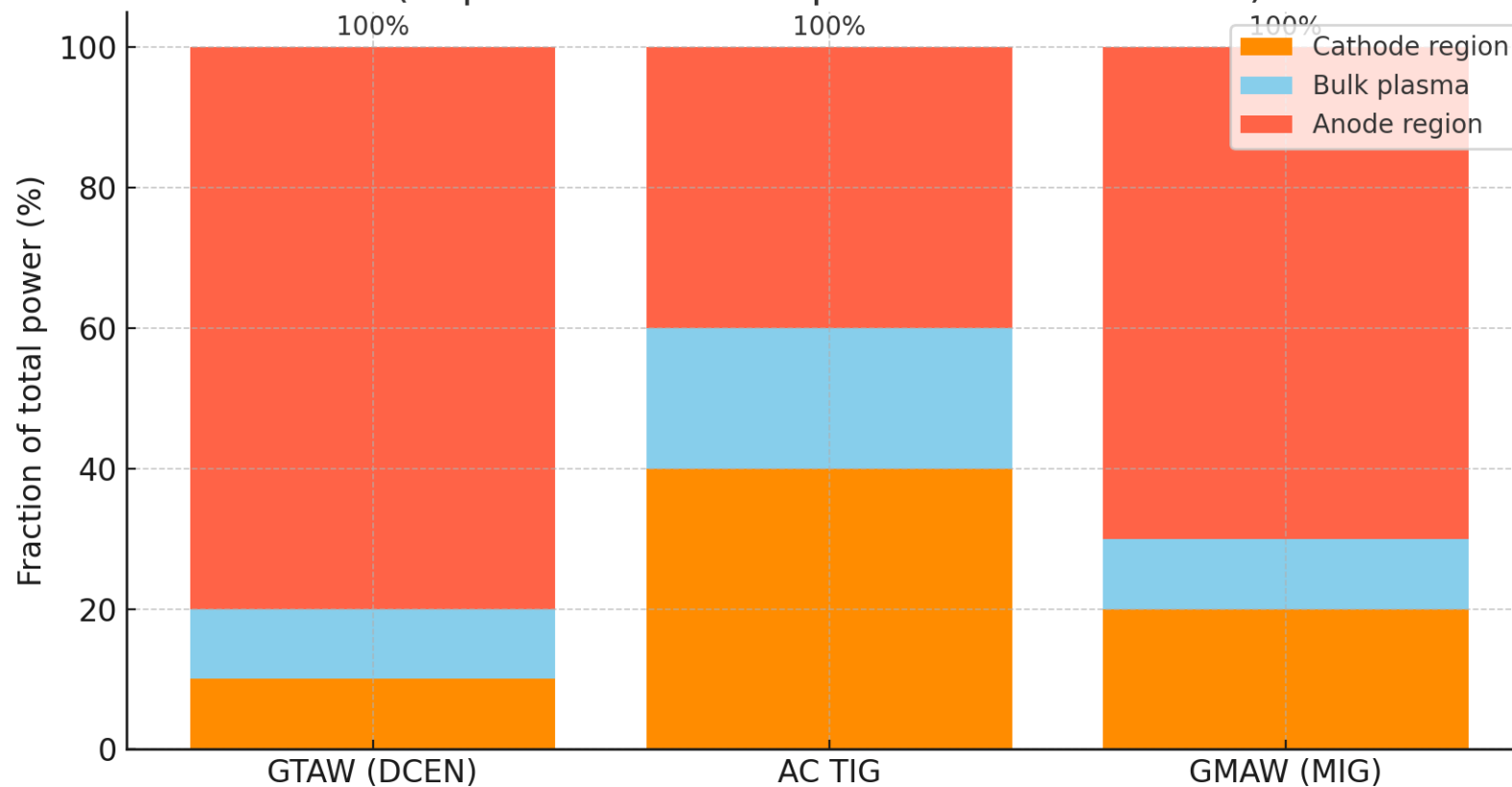
Χαρακτηριστικά AC πηγών

- Με καθορισμένη συχνότητα υπάρχει εναλλαγή
 - της έντασης του ρεύματος και της πολικότητας του
 - Στην κατεύθυνση των ιόντων
 - της θερμότητας στη διατομή του ηλεκτροδίου καθώς και του μητρικού μετάλλου



Ισχύς τόξου

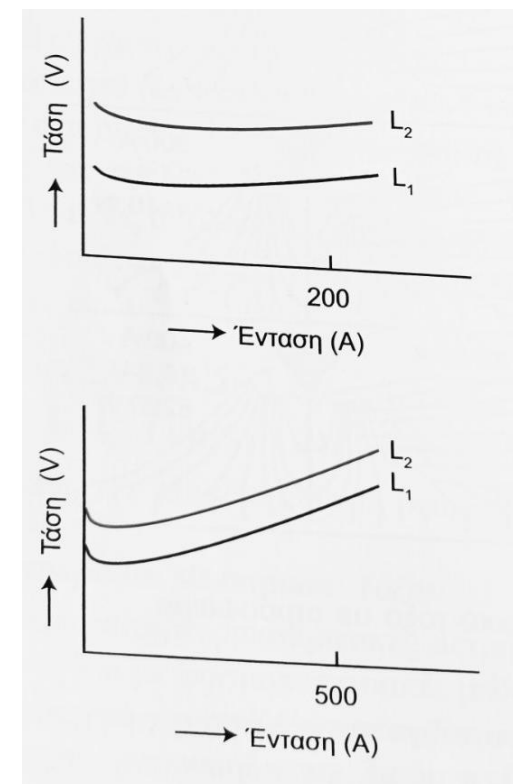
Energy Distribution by Region for GTAW (DCEN), AC TIG, and GMAW (MIG)
(Representative midpoints from literature)



Χαρακτηριστικές καμπύλες DC τόξου

- Για να γίνουν καλύτερα κατανοητές, πρέπει να θυμόμαστε ότι
 1. Ισχύουν η αρχή διατήρηση της ενέργειας και του ρεύματος
 2. Στο τόξο υπάρχει ηλεκτρική, μαγνητική και θερμική ενέργεια
 3. Η ενέργεια που παροχετεύεται λόγω της τάσης δίνεται από τη σχέση

$$\varepsilon = eE\lambda$$

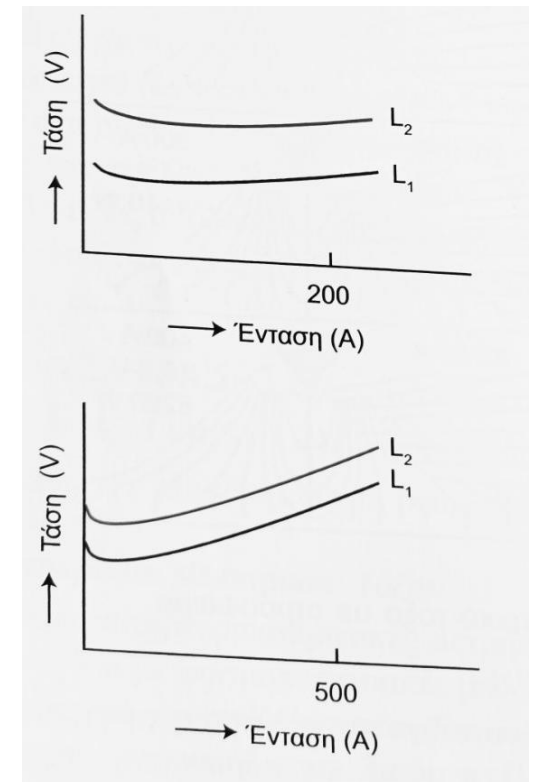


Χαρακτηριστικές καμπύλες DC τόξου

Έτσι με την αύξηση της έντασης του ρεύματος

1. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων

- ▶ Έτσι αυξάνονται και η συγκρούσεις τους με ιόντα και ουδέτερα φορτισμένα είδη
- ▶ Καθώς και προκαλούνται ακτινοβολούμενες εκκενώσεις
- ▶ Προκαλώντας αύξηση των θερμικών απωλειών
- ▶ Συνεπώς, εφόσον η συντριπτική πλειοψηφία του ρεύματος στη στήλη του πλάσματος μεταφέρεται μέσω της κίνησης των ηλεκτρονίων
- ▶ Είναι απαραίτητο να αυξηθεί η τάση στη στήλη έτσι ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης του ρεύματος

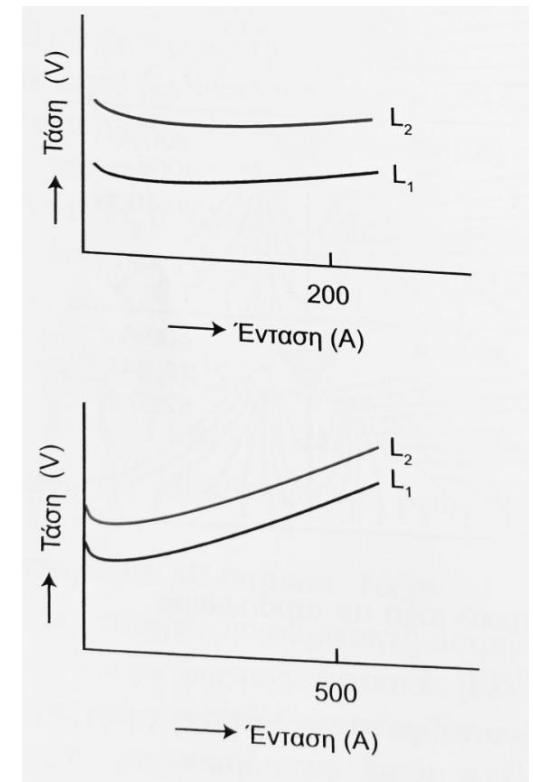


Χαρακτηριστικές καμπύλες DC τόξου

Έτσι με την αύξηση της έντασης του ρεύματος

2. Αυξάνεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου

- ▶ Δημιουργείται ισχυρότερη δύναμη Lorenz
- ▶ Προκαλώντας μείωση της διατομής του τόξου
- ▶ Ως αποτέλεσμα το μέσο ελεύθερο μήκος διαδρομής των ηλεκτρονίων πριν συγκρουστεί με άλλα ιόντα ή άτομα
- ▶ Συνεπώς, εφόσον η συντριπτική πλειοψηφία του ρεύματος στη στήλη του πλάσματος μεταφέρεται μέσω της κίνησης των ηλεκτρονίων
- ▶ Είναι απαραίτητο να αυξηθεί η τάση στη στήλη έτσι ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης του ρεύματος



Χαρακτηριστικές καμπύλες DC τόξου

Έτσι με την αύξηση της έντασης του ρεύματος

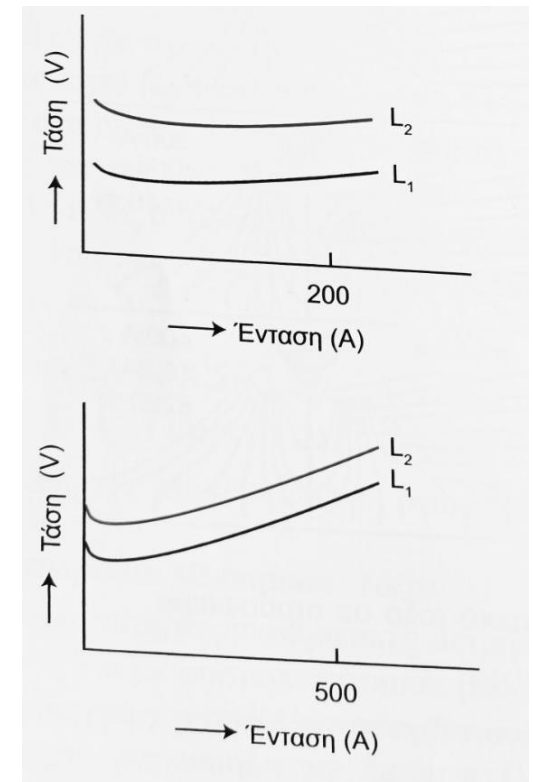
3. Αυξάνεται η θερμοκρασία του πλάσματος

- Θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας θερμότητας

4. Παρατηρούνται άλλες απώλειες ενέργειας

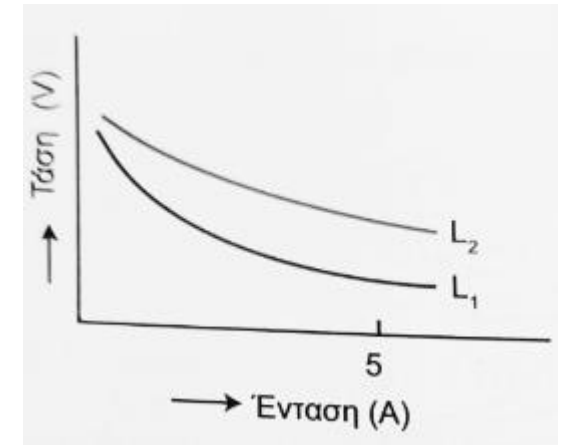
- Θερμικές και ηλεκτρονιακές λόγω ανασυνδιασμών
- Ηλεκτρονιακές λόγω της θερμιονικής εκπομπής

Συνεπώς, για να ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια μέσω της αύξησης της τάσης στη στήλη



Χαρακτηριστικές καμπύλες DC τόξου

- ❑ Σε χαμηλές τιμές έντασης του ρεύματος ($I \leq 5A$)
- ❑ Η χαρακτηριστική είναι κατιούσα
- ❑ Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλή
- ❑ Με την αύξηση της έντασης του ρεύματος, αυξάνεται η θερμοκρασία
- ❑ Σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών, η ηλεκτρική αγωγιμότητα της στήλης μειώνεται δραματικά με την αύξηση της θερμοκρασίας
- ❑ Έτσι το ρεύμα διαρρέει «εύκολα», συνεπώς απαιτείται μικρότερη τάση στην στήλη, για την διατήρηση του ρεύματος



Χαρακτηριστικές καμπύλες DC πηγών

- ❑ Στη συντριπτική πλειοψηφία των βιομηχανικών εφαρμογών απαιτείται η ηλεκτρική ισχύς να παραμένει σταθερή.
- ❑ Αντιθέτως στις συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου οι απαιτήσεις μεταβάλλονται π.χ.
 - Με την αύξηση του μήκους του τόξου απαιτείται μεγαλύτερη τάση για την διατήρηση του ρεύματος
 - Όταν πραγματοποιείται η έναυση του τόξου, ως αποτέλεσμα επαφής του ηλεκτροδίου με το μητρικό υλικό, η ηλεκτρική αντίσταση του αερίου ελαττώνεται έτσι τείνει να προκαλέσει την αύξηση του ρεύματος εκτός αν η πηγή ρεύματος σχεδιαστεί σωστά

Χαρακτηριστικές καμπύλες DC πηγών

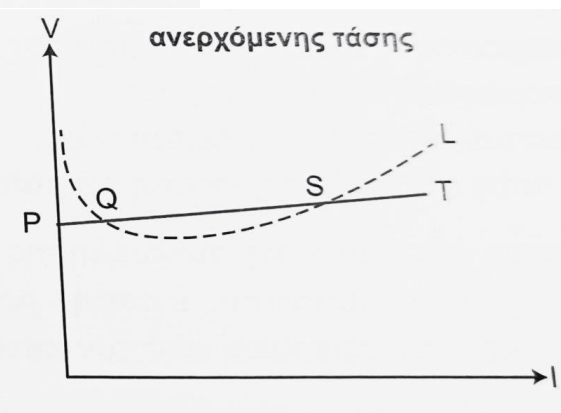
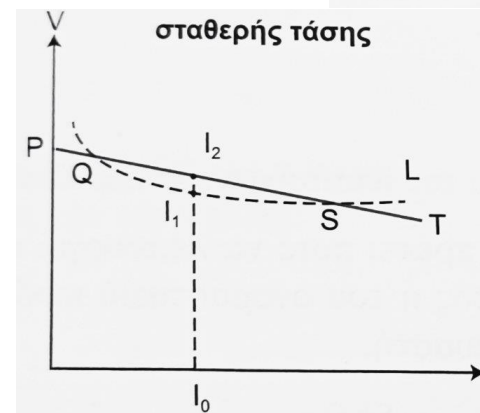
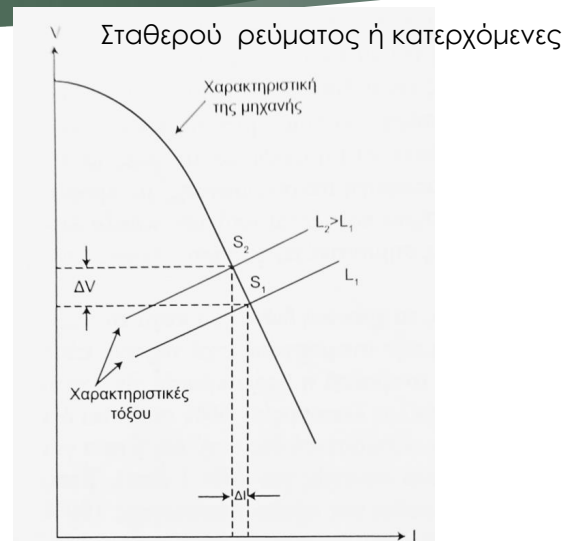
- ❑ Στη συντριπτική πλειοψηφία των βιομηχανικών εφαρμογών απαιτείται η ηλεκτρική ισχύς να παραμένει σταθερή.
- ❑ Αντιθέτως στις συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου οι απαιτήσεις μεταβάλλονται π.χ.
 - Όταν υπάρχει μεταφορά υλικού με βραχυκύκλωμα
 - Για να πραγματοποιηθεί ξανά η έναυση του τόξου απαιτείται στιγμιαία υψηλή τάση
- ❑ Συμπερασματικά λοιπόν οι μηχανές – πηγές ρεύματος λειτουργούν συνδυαστικά με τη χαρακτηριστική καμπύλη του τόξου

Χαρακτηριστικές καμπύλες DC πηγών

- ❑ Σύμφωνα με μορφή της χαρακτηριστικής τους καμπύλης οι μηχανές DC ρεύματος χωρίζονται σε 2 κατηγορίες
 1. Μηχανές σταθερού ρεύματος ή κατερχόμενες
 2. Μηχανές σταθερής τάσης ή ανερχόμενες
- ❑ Κοινό τους χαρακτηριστικό αποτελεί η υψηλή τιμή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος
- ❑ Το σημείο λειτουργίας των μηχανών αποτελεί το σημείο τομής της χαρακτηριστικής τους καμπύλης με τη χαρακτηριστική καμπύλη του τόξου

Χαρακτηριστικές καμπύλες DC πηγών

- Σύμφωνα με μορφή της χαρακτηριστικής τους καμπύλης οι μηχανές DC ρεύματος χωρίζονται σε 2 κατηγορίες
 1. Μηχανές σταθερού ρεύματος ή κατερχόμενες
 2. Μηχανές σταθερής τάσης ή ανερχόμενες
- Το σημείο λειτουργίας των μηχανών αποτελεί το σημείο τομής της χαρακτηριστικής τους καμπύλης με τη χαρακτηριστική καμπύλη του τόξου

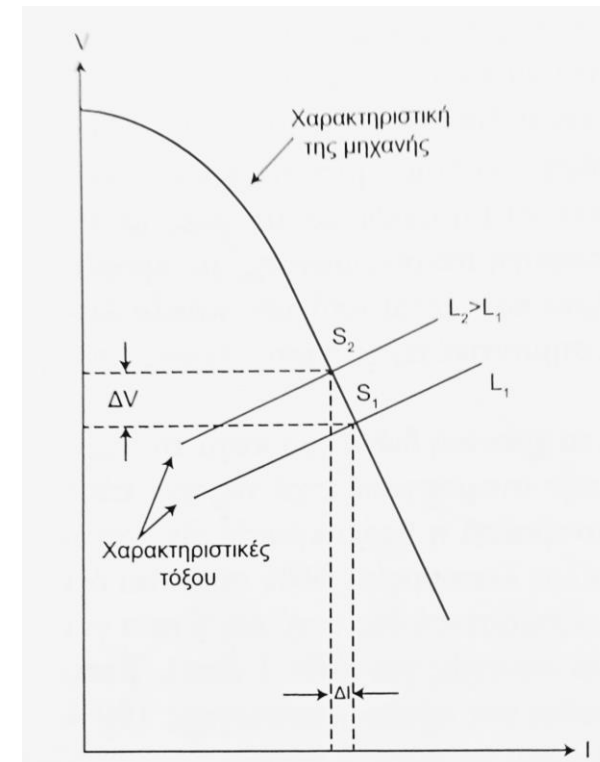


Χαρακτηριστικές καμπύλες μηχανών DC

- ❑ Οι μηχανές έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα και χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση έτσι ώστε η παροχέτευση θερμικής ενέργειας στο ηλεκτρόδιο και στο μητρικό υλικό να παραμένουν σταθερές
- ❑ Για να γίνουν καλύτερα κατανοητές, πρέπει να θυμόμαστε ότι
 1. Ισχύουν η αρχή διατήρηση της ενέργειας και του ρεύματος
 2. Στο τόξο υπάρχει ηλεκτρική, μαγνητική και θερμική ενέργεια

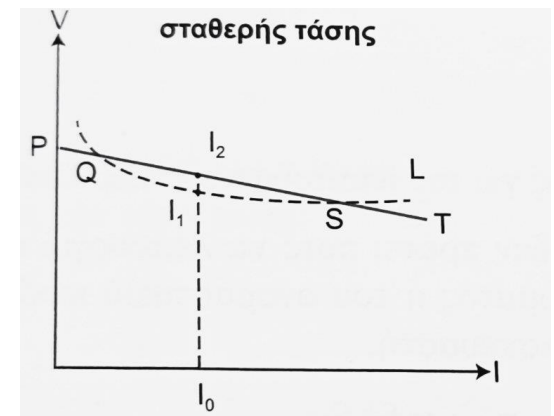
Μηχανές DC με χαρακτηριστικές καμπύλες σταθερού ρεύματος

- Στην πραγματικότητα παρουσιάζουν μικρή ή ευδιάκριτη καθοδική κλίση, με την μεταβολή του ρεύματος να είναι πολύ μικρότερη
- Χρησιμοποιούνται σε χειροκίνητες συγκολλήσεις που ο χειριστής ελέγχει το μήκος του τόξου
- Έτσι με την αύξηση του μήκους η τάση αυξάνεται, αλλά το ρεύμα που παροχετεύει η μηχανή ελαττώνεται κατάλληλα έτσι ώστε η παροχή θερμικής ενέργειας στο ηλεκτρόδιο και στο μητρικό υλικό να παραμένει σταθερή



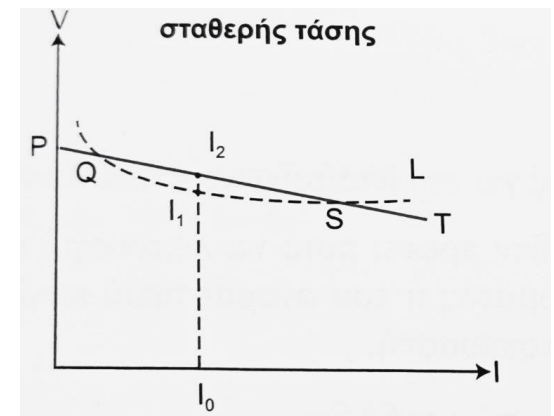
Μηχανές DC με χαρακτηριστικές καμπύλες σταθερής τάσης

- ❑ Στην πραγματικότητα παρουσιάζουν μικρή ανοδική ή καθοδική κλίση, με την μεταβολή της τάσης να είναι πολύ μικρότερη
- ❑ Σε συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται εκείνες που παρουσιάζουν πολύ μικρή καθοδική κλίση
- ❑ Χρησιμοποιούνται σε αυτόματες και ημιαυτόματες συγκολλήσεις
- ❑ Οι οποίες χρησιμοποιούν τηκτόμενο ηλεκτρόδιο και
- ❑ παρουσιάζουν μηχανισμό αυτοσυντήρησης, δηλαδή διατηρούν το μήκος του τόξου σταθερό



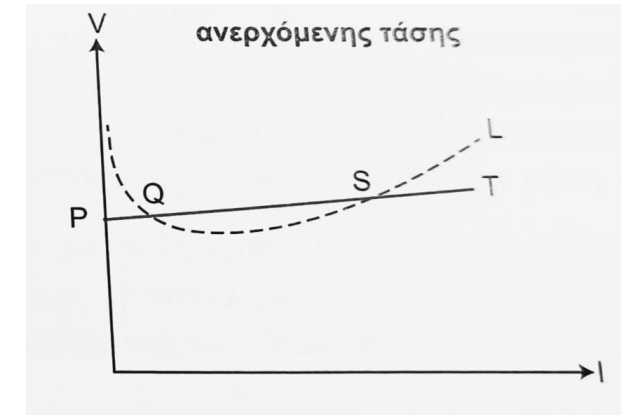
Μηχανές DC με χαρακτηριστικές καμπύλες σταθερής τάσης

- ❑ Σε αυτές τις τεχνικές συγκόλλησης λόγω της τήξης του ηλεκτροδίου
- ❑ Πραγματοποιείται αυτόματη προώθηση του για να αναπληρωθεί
- ❑ Όμως ανάλογα με αυτή την προώθηση για να παραμείνει σταθερό το μήκος του τόξου απαιτείται συνήθως αύξηση της έντασης του ρεύματος
- ❑ Με σκοπό να αυξηθεί ο ρυθμός τήξης
- ❑ Έτσι η τάση μεταβάλλεται έτσι ώστε η θερμική ενέργεια που παρέχεται στο μητρικό μέταλλο να παραμείνει όσο γίνεται αμετάβλητη



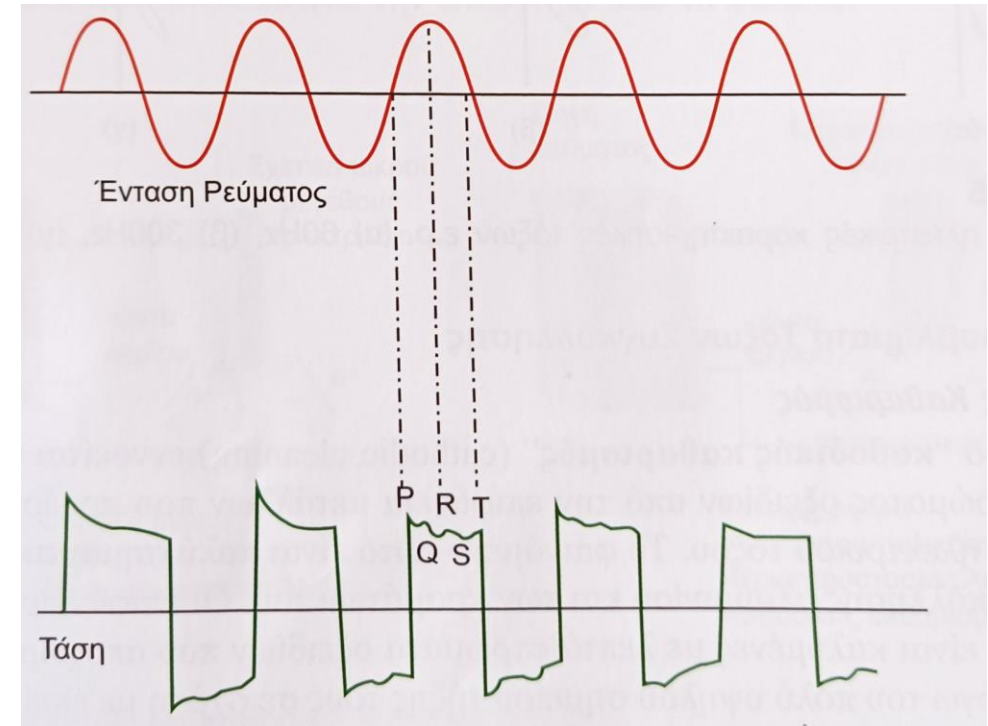
Μηχανές DC με χαρακτηριστικές καμπύλες σταθερής τάσης

- ❑ Στην πραγματικότητα αυξάνεται η θερμοκρασία του τόξου
- ❑ Έτσι παρατηρείται μεγαλύτερη θερμοεπηραζόμενη ζώνη
- ❑ Μηχανές με χαρακτηριστικές καμπύλες σταθερής τάσης με ανοδική κλίση δεν χρησιμοποιούνται
- ❑ Διότι σε αυτή την περίπτωση παροχετεύεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας με αποτέλεσμα
- ❑ Την αύξηση της θερμότητας, αλλά και των θερμικών απωλειών
- ❑ Και την αποσταθεροποίηση του τόξου



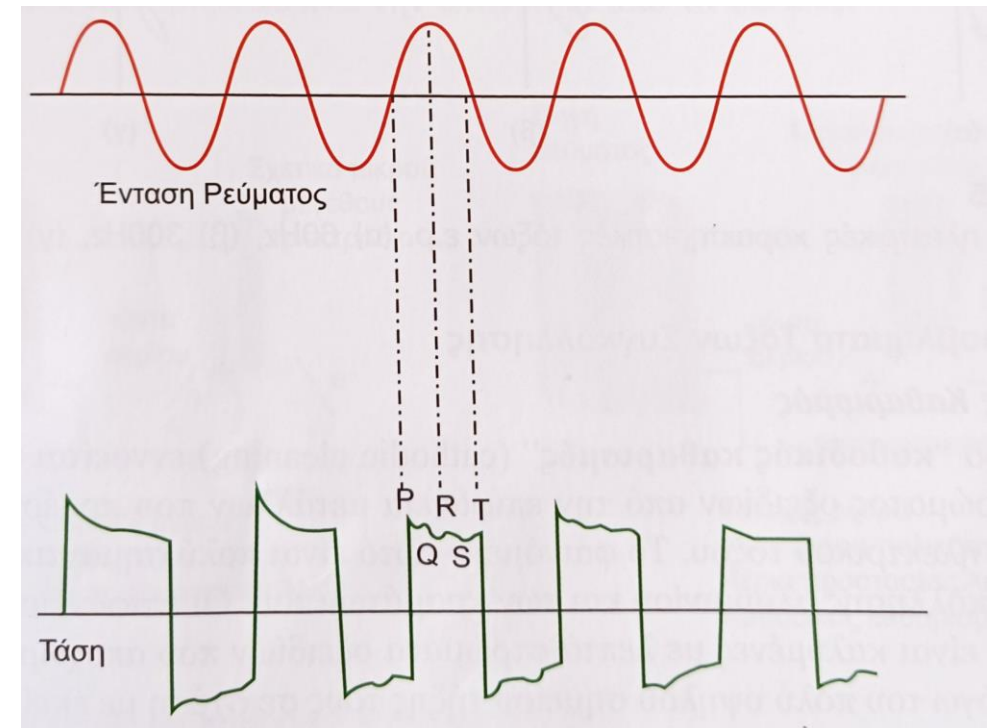
Χαρακτηριστικά AC πηγών

- Η ένταση του ρεύματος παρουσιάζει ημιτονοειδή μορφή όταν η τάση ανοιχτού κυκλώματος της πηγής είναι πολύ μεγαλύτερη της τάσης του τόξου
- Με καθορισμένη συχνότητα υπάρχει εναλλαγή
 - της έντασης του ρεύματος και της πολικότητας του
 - Στην κατεύθυνση των ιόντων
 - της θερμότητας στη διατομή του ηλεκτροδίου καθώς και του μητρικού μετάλλου



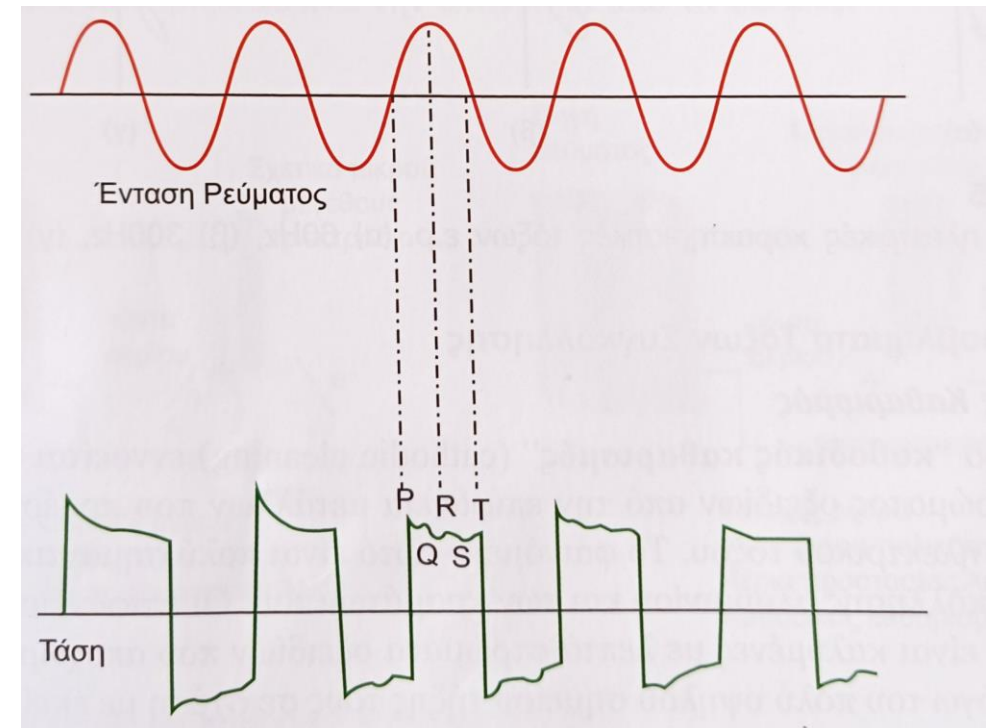
Χαρακτηριστικά AC πηγών

- Ανερχόμενη ένταση ρεύματος
 - Αναδημιουργία τόξου
 - Πρόσδοση ικανού ποσού θερμότητας και
 - Τάσης έτσι ώστε ο αέρας να ιονιστεί



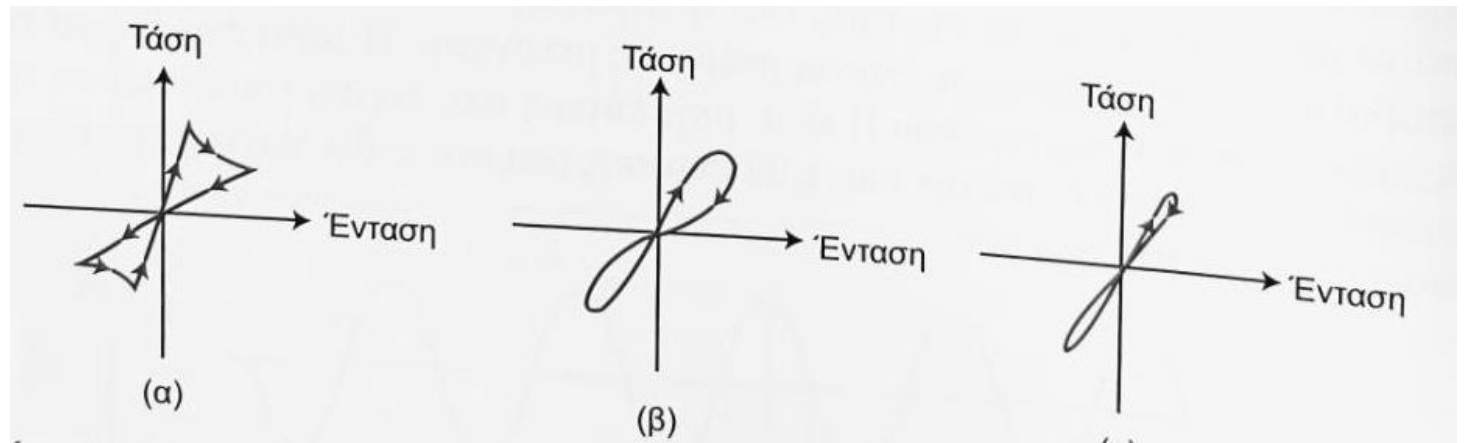
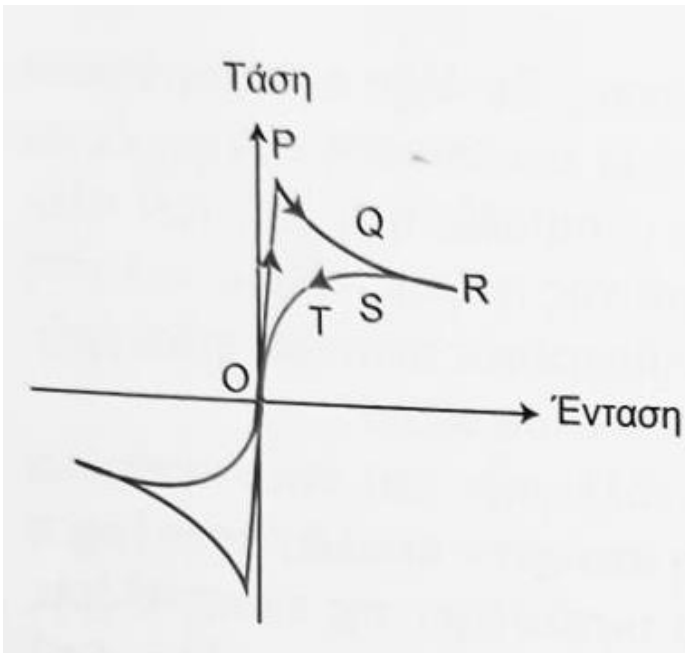
Χαρακτηριστικά AC πηγών

- ❑ Κατερχόμενη ένταση ρεύματος
 - Σταθερό πλάσμα με
 - Υψηλή πυκνότητα ηλεκτρονίων και ιόντων
 - Σταθερό μαγνητικό και θερμικό πεδίο
 - Το μαγνητικό πεδίο μόλις αρχίζει να καταρρέει
 - Έτσι ο ρυθμός ανασυνδιασμών δεν προλαβαίνει να μειώσει το ηλεκτρικό φορτίο απότομα
 - Ως αποτέλεσμα παρατηρούνται φαινόμενα υστέρησης θερμικής και ιοντικής μνήμης
- ✓ Συμπερασματικά το τόξο είναι λιγότερο σταθερό σε σχέση με τα τόξα πηγών DC



Χαρακτηριστική καμπύλη AC τόξου

- ✓ Χαρακτηριστική καμπύλη ονομάζεται το διάγραμμα V-I

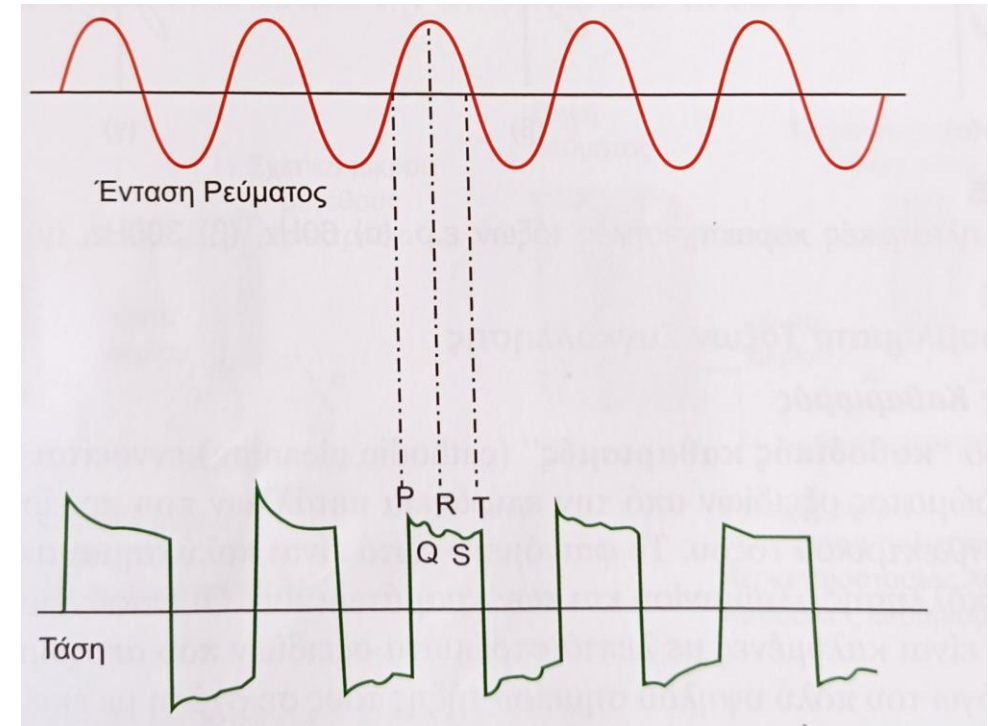


Κατεύθυνση αύξησης συχνότητας

Αντιμετώπιση αστάθειας AC τόξων

- ❑ Υψύσυχνο τόξο πιλότος
- ❑ Επαγωγικά κυκλώματα

Εμποδίζουν το τόξο να ψυχθεί αρκετά, έτσι ώστε με την αύξηση της έντασης του ρεύματος να ανάψει ξανά



Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

- Σε κάθε απότομη αλλαγή της έντασης του ρεύματος το μαγνητικό πεδίο αλλάζει και εκείνο ταχύτατα, έτσι προκαλείται επαγόμενη τάση ανάλογη της χρονικής μεταβολής της έντασης του ρεύματος, που αντιτίθεται σε αυτή τη μεταβολή
- Έτσι όταν η ένταση του ρεύματος μειώνεται και τείνει να μηδενιστεί και το μαγνητικό πεδίο καταρρέει, η αποθηκευμένη μαγνητική ενέργεια σε ένα πηνίο, μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη μορφή τάσης στα άκρα του, η οποία προσπαθεί να διατηρήσει τη ροή ρεύματος στην ίδια κατεύθυνση (πριν τη μεταβολή)

$$V = -L \frac{dI}{dt}$$

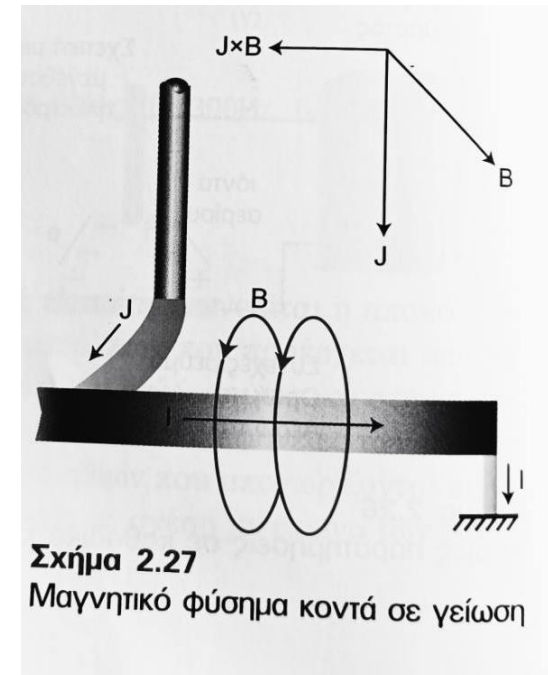
Ερωτήσεις - Απορίες

ΜΕΡΟΣ Β

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΤΟ
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ

Μαγνητικό φύσημα

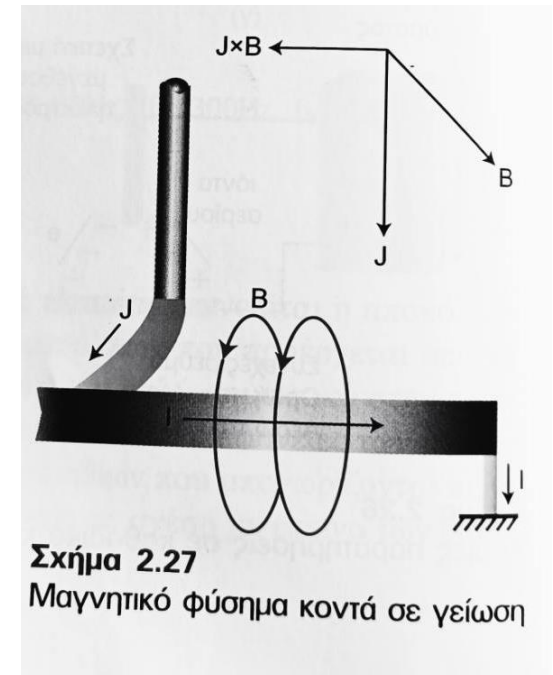
- ❑ Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει ένα αγωγό το ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται είναι συμμετρικό, οι μαγνητικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι και η δύναμη Lorenz ωθεί το τόξο να είναι κάθετο στο μητρικό υλικό
- ❑ Σε περίπτωση που το μαγνητικό πεδίο είναι ασύμμετρο, η δύναμη Lorenz αναγκάζει το τόξο να στρίψει.
- ❑ Άλλες αιτίες δημιουργίας μαγνητικού φυσήματος αποτελούν η εγκατάσταση γείωσης κοντά στη ραφή
- ❑ Παραμένων μαγνητισμός στο μέταλλο από άλλες διεργασίες που προηγήθηκαν
- ❑ Συνεπώς δημιουργούνται προβλήματα στην συγκόλληση στην αρχή και στο τέλος της ραφής



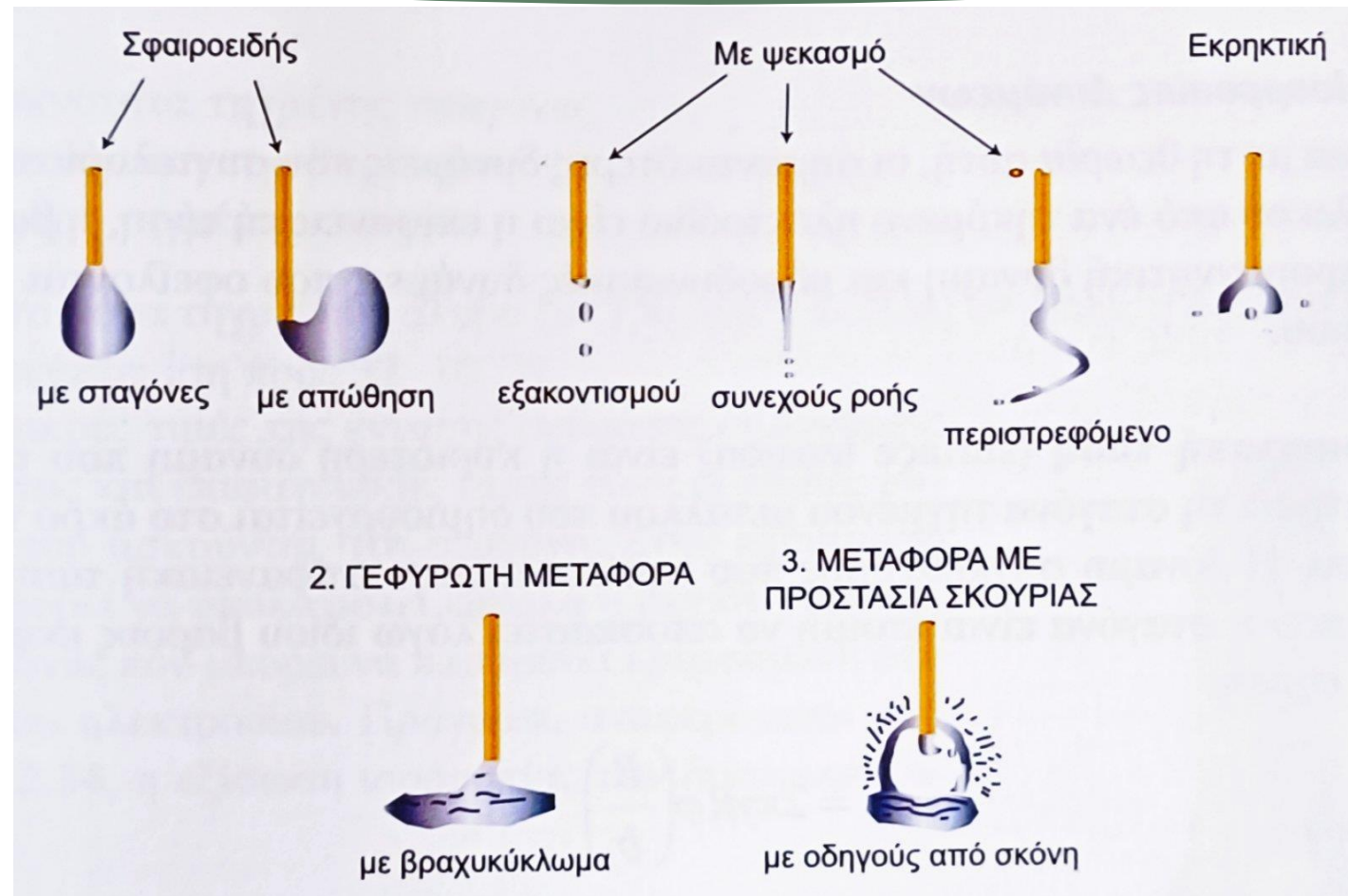
Μαγνητικό φύσημα

Μέθοδοι αντιμετώπισης μαγνητικού φυσήματος

- ❑ Απομαγνητισμός των μετάλλων (εφόσον προϋπάρχει)
- ❑ Τοποθέτηση της γείωσης όσο πιο μακριά γίνεται από τη συγκόλληση
- ❑ Ελάττωση της έντασης του ρεύματος
- ❑ Συγκόλληση οπισθοδρόμησης



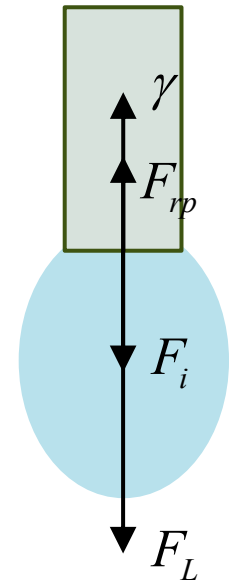
Μορφές μεταφοράς υλικού



Δυνάμεις που ενεργούν στην σταγόνα

Δυνάμεις που επιδρούν στην απόσπαση της σταγόνας από το ηλεκτρόδιο

Δύναμη	Κατεύθυνση
Επιφανειακή τάση γ	Αντιτίθεται
Δύναμη λόγω της ταχείας ατμοποίησης F_{rp}	Αντιτίθεται
Δύναμη Lorentz F_L	Ευνοϊκή
Βαρύτητα F_g	Ευνοϊκή
Δύναμη λόγω της κρούσης των ιόντων F_i	Ευνοϊκή
Αντίσταση πλάσματος F_D	Ουδέτερη ή ευνοϊκή σε υψηλές εντάσεις ρεύματος

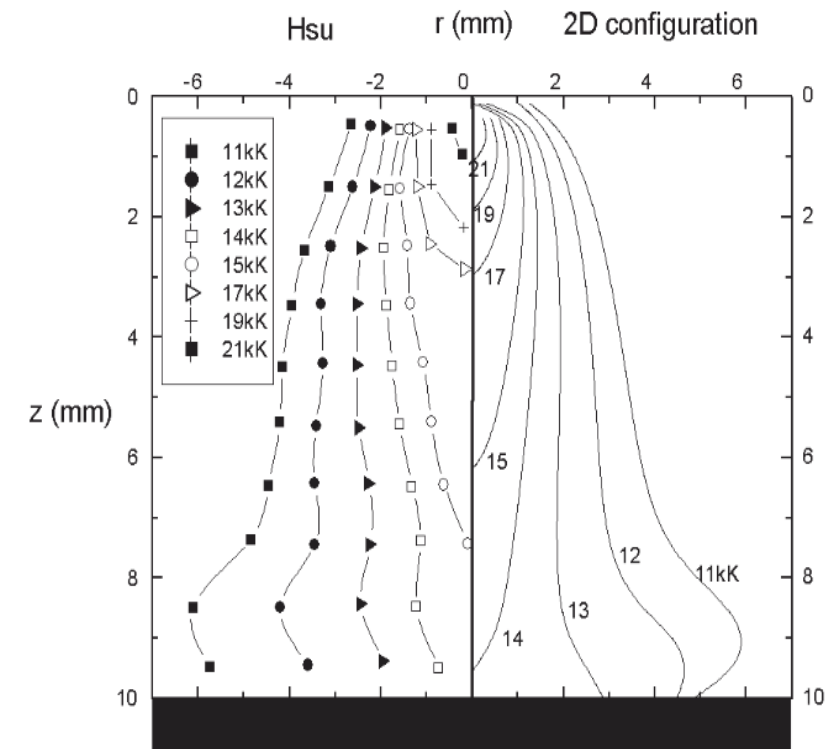


Επιφανειακή τάση

- ❑ Όταν ένα υγρό βρίσκεται σε επαφή με μια επιφάνεια
- ❑ Τα εσωτερικά μόρια του υγρού περιβάλλονται από ελκτικές δυνάμεις που αλληλοαναιρούνται
- ❑ Τα μόρια στο εξωτερικό σύνορο του υγρού δέχονται δυνάμεις αποκλειστικά από τα εσωτερικά
- ❑ Έτσι έλκονται προς τα μέσα
- ❑ Με αποτέλεσμα η επιφάνεια του υγρού να συμπιέζεται και τείνει να ελαχιστοποιείται
- ❑ Ως αποτέλεσμα της έλξης των μορίων στο εξωτερικό σύνορο από τα εσωτερικά μόρια
- ❑ Δηλαδή στην προσπάθειά τους να ελαχιστοποιήσουν την ενέργεια

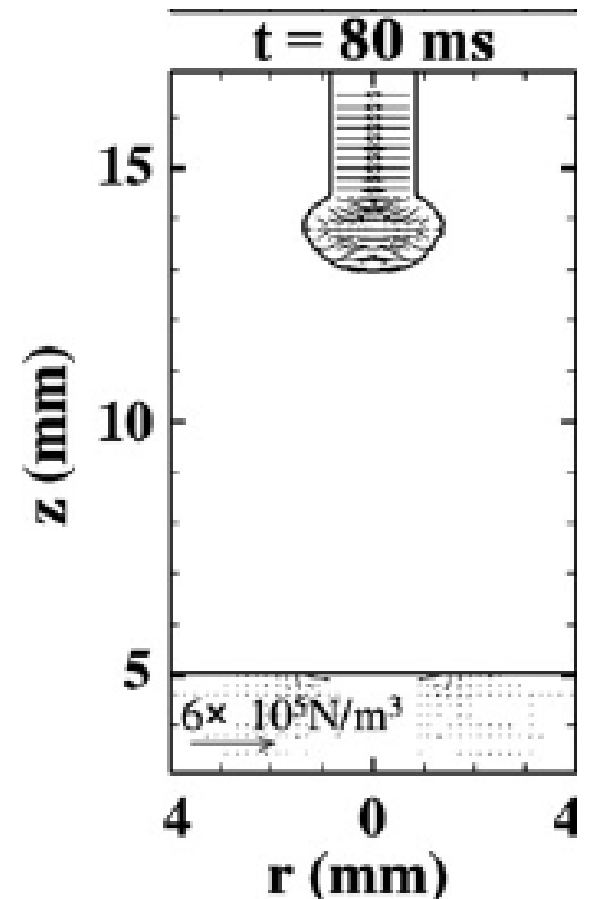
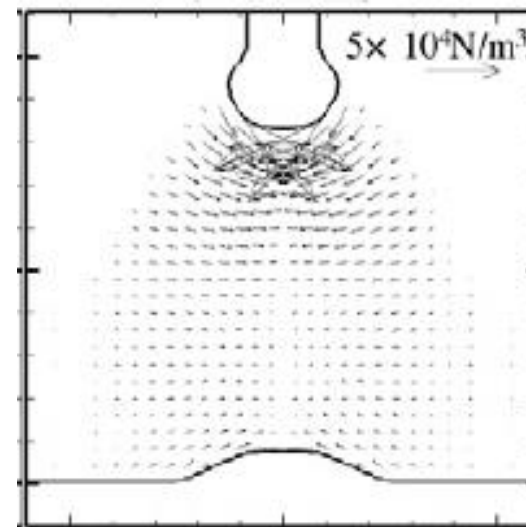
Δύναμη λόγω της ταχείας ατμοποίησης (recoil pressure)

- Στην διεπιφάνεια σταγόνας – ηλεκτροδίου η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή
- Προκαλείται ταχεία εξάτμιση υλικού
- Δημιουργώντας ένα πυκνό νέφος μεταλλικών ατμών
- Οι οποίοι κινούνται από το θερμό προς το ψυχρό, δηλαδή από το πλάσμα προς το ηλεκτρόδιο
- Καθώς η θερμοκρασία το πλάσματος είναι μεγαλύτερη ακριβώς κάτω από το ηλεκτρόδιο δημιουργούνται μεγαλύτερα νέφη μεταλλικών ατμών στη βάση της σταγόνας



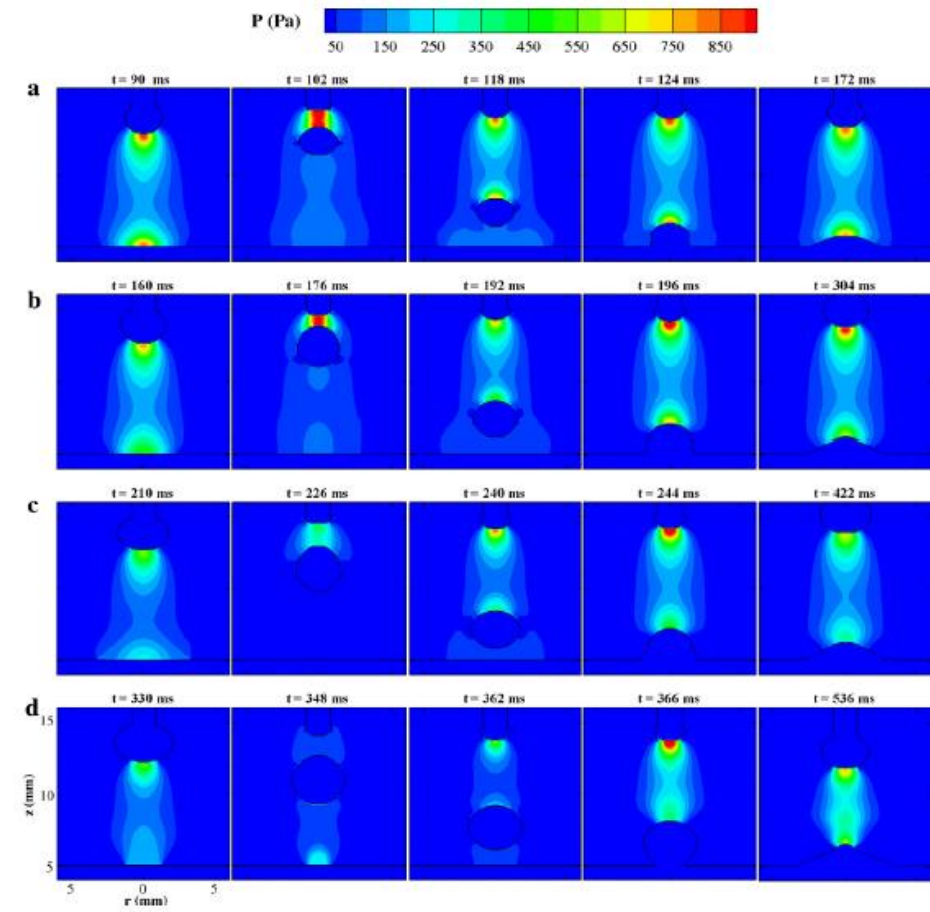
Δύναμη Lorenz

- Προκαλείται από το μαγνητικό πεδίο
- Δημιουργεί δύναμη που τείνει να δημιουργήσει λαιμό στην σταγόνα, και να μειώσει την ακτίνα της
- Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται pinch effect
- Αλλά και δύναμη προς τα κάτω που ωθεί στην απόσπαση της σταγόνας από το ηλεκτρόδιο



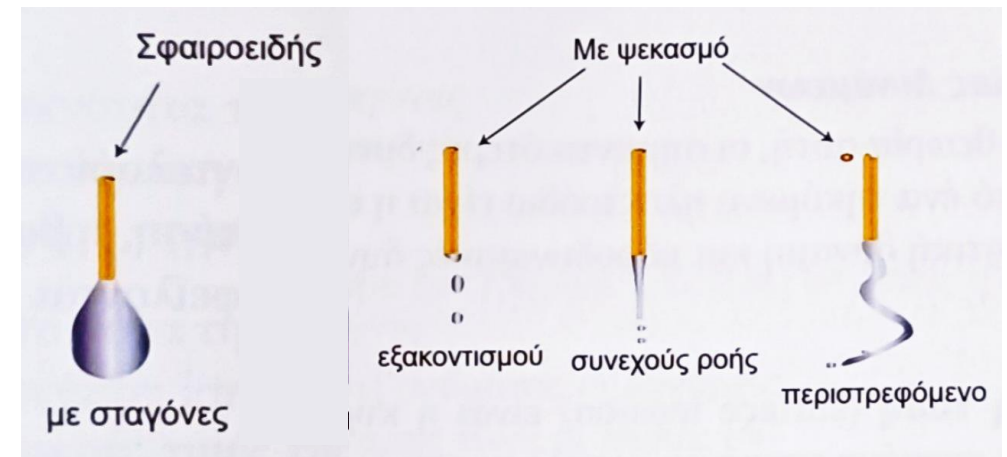
Δυνάμεις στο πλάσμα

- Παρουσιάζεται η συνισταμένη των υπολοίπων δυνάμεων που ενεργούν στη σταγόνα



Μορφές μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα

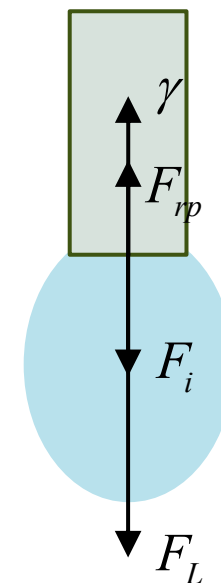
- ❑ Σε χαμηλές τιμές της έντασης του ρεύματος η μεταφορά υλικού γίνεται με σταγόνες
- ❑ Όταν όμως η τιμή της έντασης του ρεύματος ξεπεράσει μια τιμή
- ❑ Η μεταφορά υλικού γίνεται με ψεκασμό
- ❑ Όπου με την αύξηση του ρεύματος η μεταφορά μετατρέπεται από εξακοντισμού σε συνεχής ροή και περιστρεφόμενο
- ❑ Η οριακή αυτή τιμή της έντασης του ρεύματος ονομάζεται ρεύμα μετάβασης ή μεταβατικό ρεύμα



Δυνάμεις που ενεργούν στην σταγόνα

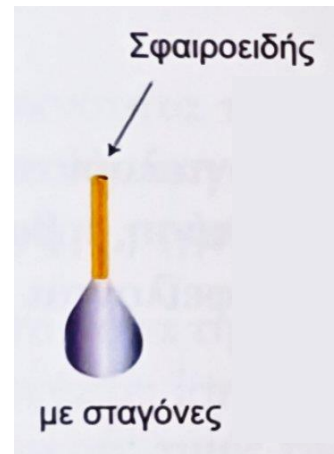
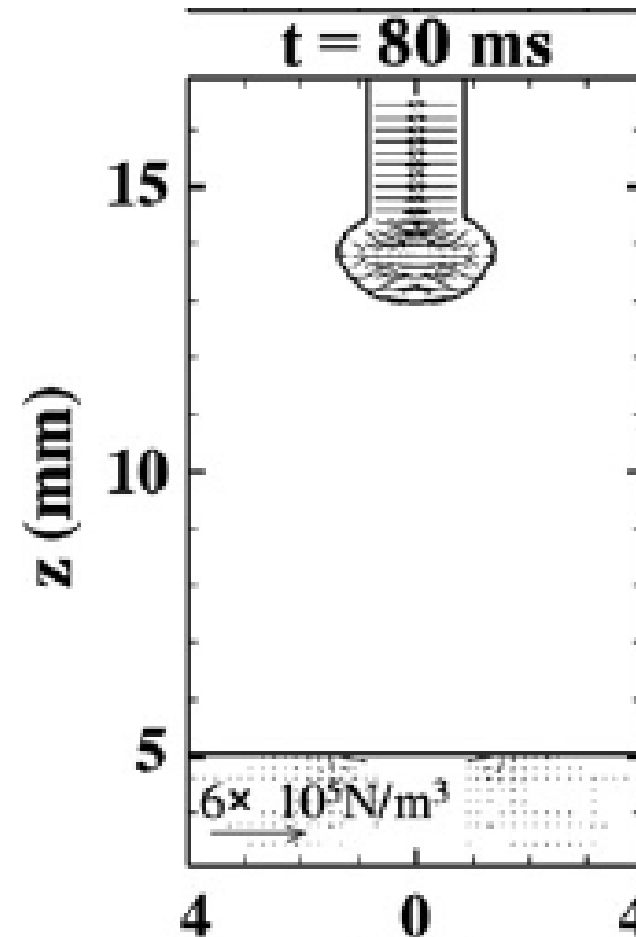
Δυνάμεις που επιδρούν στην απόσπαση της σταγόνας από το ηλεκτρόδιο

Δύναμη	Κατεύθυνση	Επίδραση
Επιφανειακή τάση γ	Αντιτίθεται	Κύρια
Δύναμη λόγω της ταχείας ατμοποίησης F_{rp}	Αντιτίθεται	Δευτερεύουσα
Δύναμη Lorentz F_L	Ευνοϊκή	Κύρια
Βαρύτητα F_g	Ευνοϊκή	Αμελητέα
Δύναμη λόγω της κρούσης των ιόντων F_i	Ευνοϊκή	Δευτερεύουσα
Αντίσταση πλάσματος F_D	Ουδέτερη ή ευνοϊκή σε υψηλές εντάσεις ρεύματος	Αμελητέα



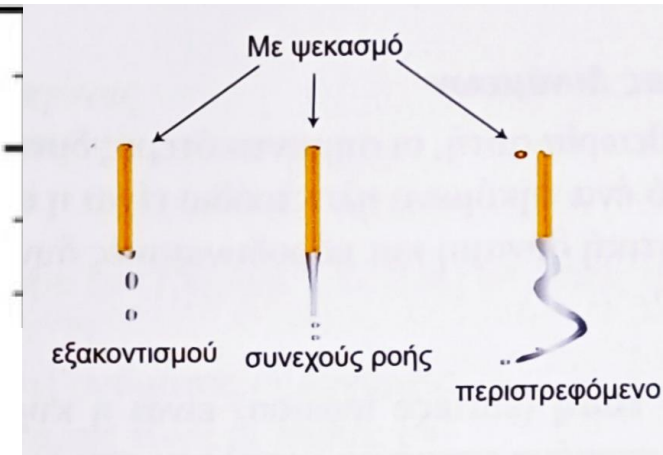
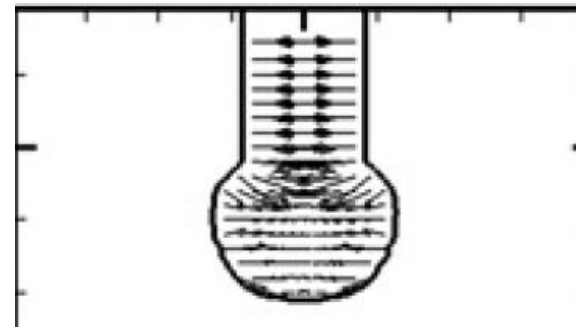
Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα

- Σε χαμηλές τιμές της έντασης του ρεύματος η μεταφορά υλικού γίνεται με σταγόνες
- Η σταγόνα συγκρατείται στο ηλεκτρόδιο κατά κύριο λόγο από την επιφανειακή τάση
- Αν και το pinch effect είναι μικρό, προκαλείται μικρή εκλέπτυνση της σταγόνας
- Η οποία τελικά αποσπάζεται λόγω εσωτερικής ηλεκτρομαγνητικής παραμόρφωσης η οποία οφείλεται στην δύναμη Lorentz

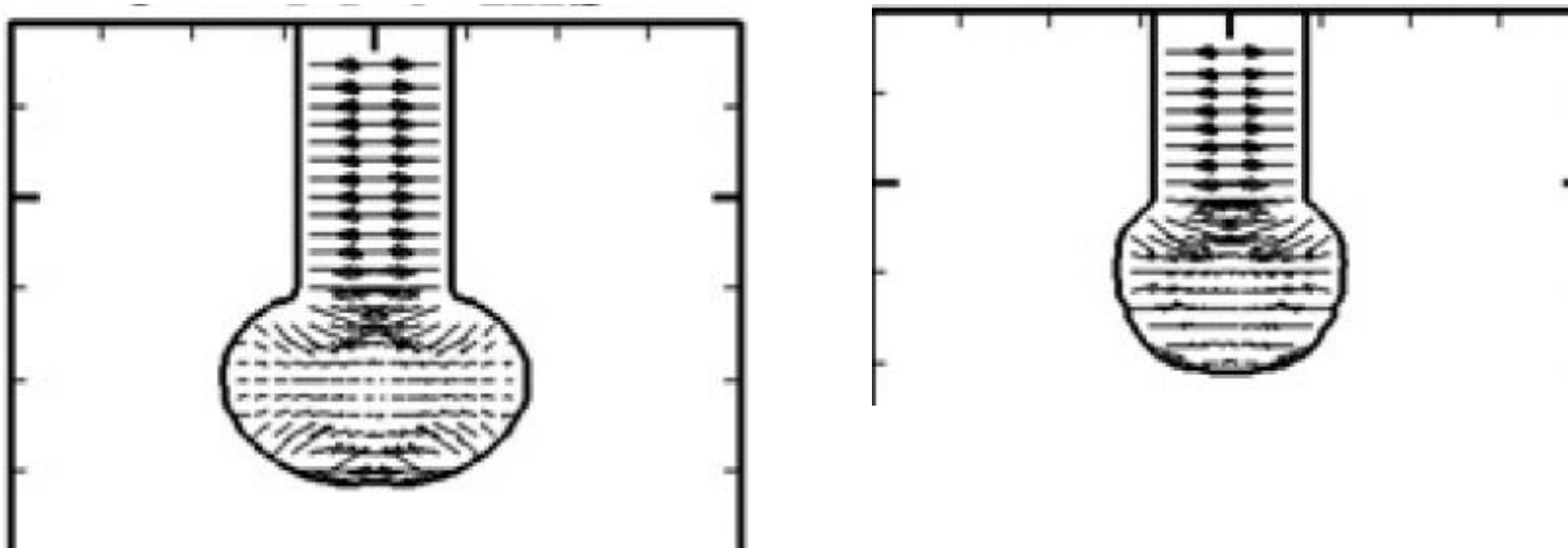


Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα

- ❑ Με την αύξηση της έντασης του ρεύματος,
- ❑ όταν αυτή ξεπεράσει το ρεύμα μετάβασης
- ❑ Το pinch effect μεγαλώνει
- ❑ Προκαλείται μεγάλη εκλέπτυνση της σταγόνας και αυτή αποκόπτεται εύκολα
- ❑ Έτσι η μεταφορά υλικού γίνεται με εξακοντισμό
- ❑ Περαιτέρω αύξηση της έντασης του ρεύματος οδηγεί σε συνεχή ροή υλικού
- ❑ Ενώ σε εξαιρετικά μεγάλες τιμές έχουμε περιστρεφόμενη ροή

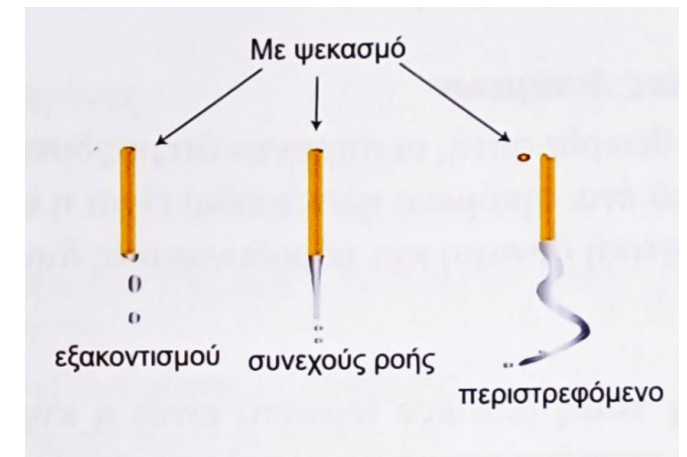


Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα

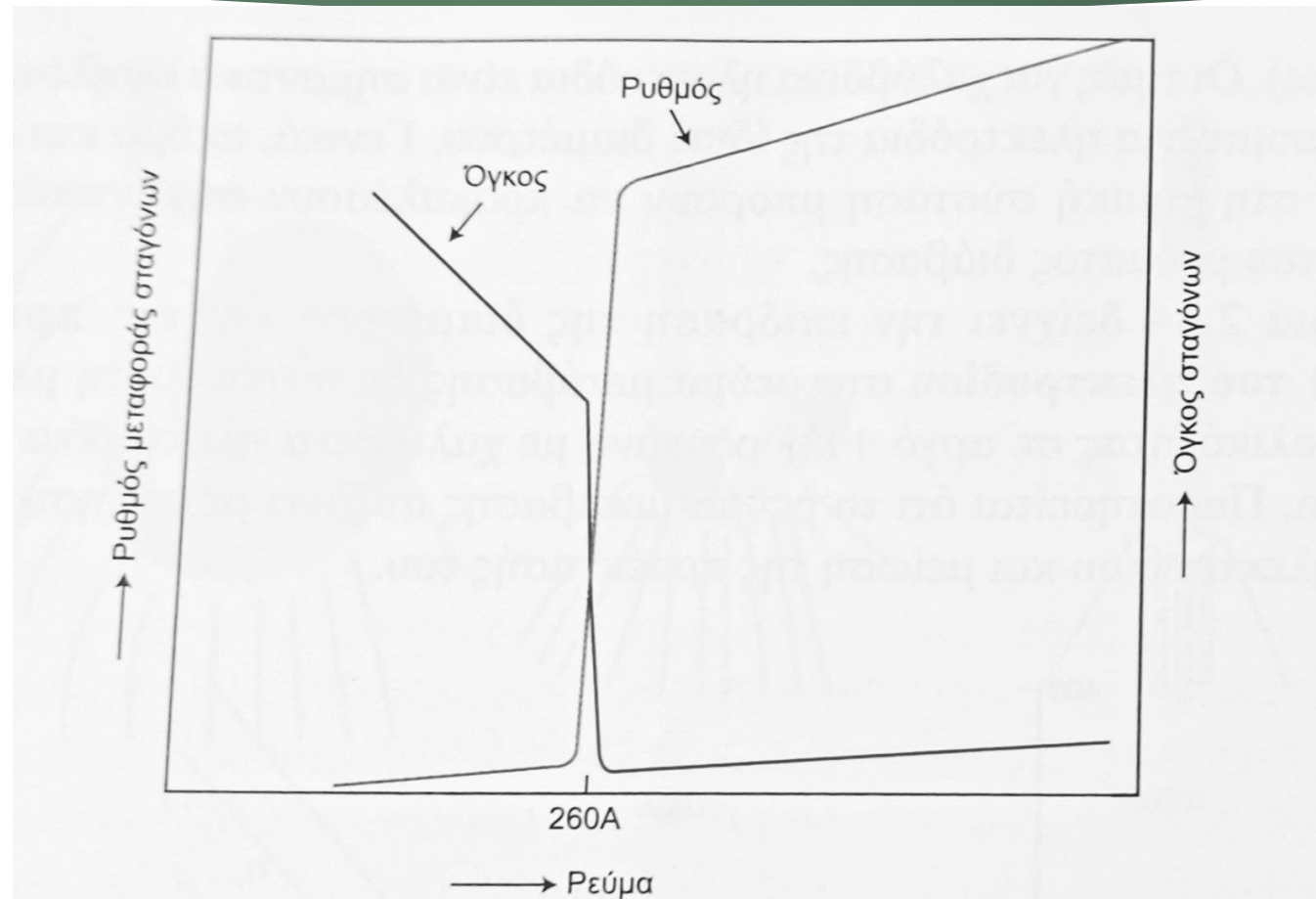


Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα

- ❑ Περιστρεφόμενη ροή όμως μπορεί να προκύψει λόγω ασυμμετρίας του μαγνητικού πεδίου λόγω
 - Μαγνητικού φυσήματος
 - Ηλεκτρόδιο με μη σφαιρική ή κυλινδρική διατομή (π.χ. κωνική)
 - Ακανόνιστη επιφάνεια ηλεκτροδίου λόγω οξείδωσης

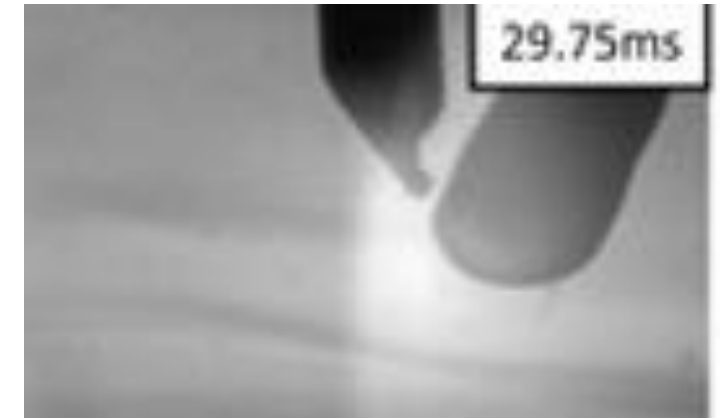


Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ανάστροφη πολικότητα



Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ορθή πολικότητα

- ❑ Η μεταφορά υλικού γίνεται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα με απωθούμενη μεταφορά
- ❑ Ο μηχανισμός αποκόλλησης δεν είναι ξεκάθαρος
- ❑ οι περισσότερες αναφορές στη βιβλιογραφία συγκλίνουν στο ότι οφείλεται στις δυνάμεις από τος συγκρούσεις των ιόντων στο ηλεκτρόδιο

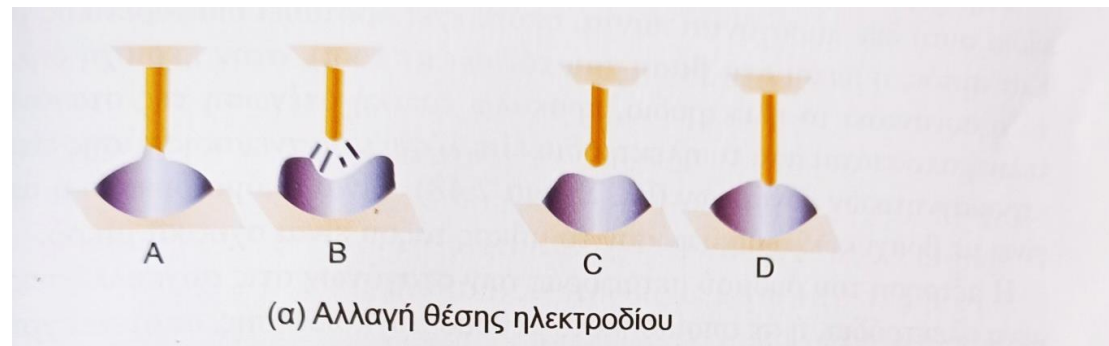


Μηχανισμός μεταφοράς υλικού με ορθή πολικότητα

- ❑ Εξαίρεση αποτελεί η GMAW DC με παλμό καθώς λόγω της χρονικής μεταβολής μεταξύ των παλμών
- ❑ Δημιουργείται σημαντική δύναμη Lorenz
- ❑ ανάλογα με την ένταση του ρεύματος η μεταφορά υλικού γίνεται είτε με σταγόνα είτε με ψεκασμό
- ❑ Εξαίρεση επίσης αποτελούν οι συγκολλήσεις με σωληνωτά ηλεκτρόδια, που με την προσθήκη μετάλλων και οξειδίων αυξάνεται η δύναμη Lorenz και προκαλείται μεταφορά με σταγόνα

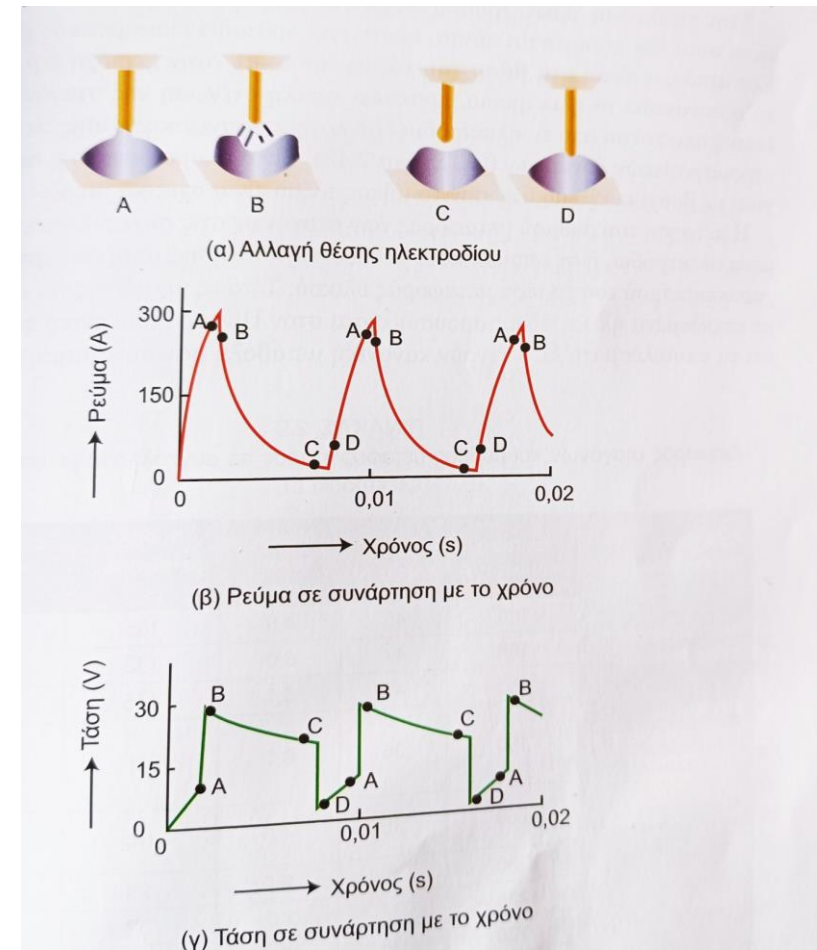
Μεταφορά υλικού με βραχυκύκλωμα

- ❑ Η μεταφορά λαμβάνει χώρα με άμεση επαφή μεταξύ τηγμένου άκρου του ηλεκτροδίου
- ❑ Και της λίμνης συγκόλλησης
- ❑ Ο μηχανισμός μεταφοράς υλικού ονομάζεται μεταφορά με βύθιση



Μεταφορά υλικού με βραχυκύκλωμα

- ❑ Κατά την άμεση επαφή μεταξύ τηγμένου άκρου του ηλεκτροδίου προκαλείται βραχυκύκλωμα
- ❑ Η μηχανή της συγκόλλησης πρέπει να είναι τέτοια ώστε κατά το βραχυκύκλωμα
- ❑ Η αναπτυσσόμενη ένταση του ρεύματος να προκαλεί τέτοια δύναμη ώστε να υποχωρεί η λίμνη συγκόλλησης
- ❑ Λόγω των χαρακτηριστικών της μηχανής το αναπτυσσόμενο τόξο δεν είναι ευσταθές
- ❑ Έτσι μειώνεται το μήκος του μέχρι το ηλεκτρόδιο να έρθει σε επαφή με τη λίμνη συγκόλλησης



Μεταφορά υλικού με επενδυμένα ηλεκτρόδια

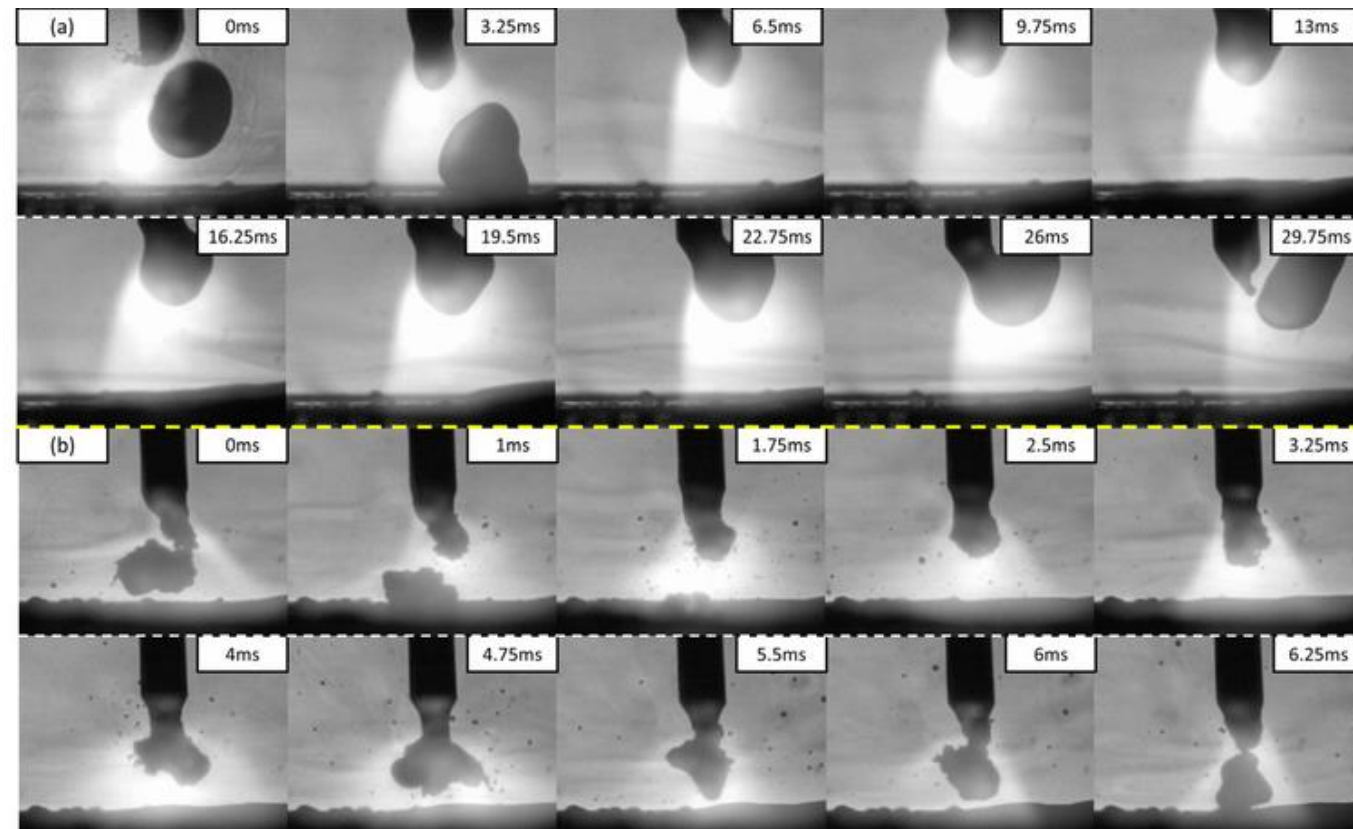
- ❑ Δύο μηχανισμοί έχουν προταθεί ανάλογα με τη σύσταση της επένδυσης
- ❑ Σε περίπτωση που η επένδυση είναι αποξειδωμένη η μεταφορά υλικού γίνεται με απωθούμενη μεταφορά
- ❑ Αντίθετα σε περίπτωση που η επένδυση περιέχει οξείδια ή/και μέταλλα η μεταφορά υλικού ονομάζεται εκρηκτική
- ❑ Σύμφωνα με τον μηχανισμό που έχει προταθεί μαζί με τη σταγόνα στο άκρο του ηλεκτροδίου δημιουργούνται φυσαλίδες αερίου στο εσωτερικό τις σταγόνες
- ❑ Οι φυσαλίδες σπάνε διασκορπίζοντας σταγονίδια μετάλλων, έτσι η μεταφορά ξεκινά από το άκρο του ηλεκτροδίου

Μεταφορά υλικού με επενδυμένα ηλεκτρόδια

- ❑ Ιδιαίτερα όταν προστίθεται Mn και Si στην επένδυση του ηλεκτροδίου
- ❑ Το πυρίτιο μεταβάλλει την επιφανειακή τάση με αποτέλεσμα τη στένωση της σταγόνας
- ❑ Το μαγγάνιο ιονίζεται εύκολα, δημιουργώντας ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο
- ❑ Ενισχύοντας την δύναμη Lorenz και το pinch effect
- ❑ Συνεπώς η όταν η δύναμη Lorenz γίνει μεγαλύτερη από την επιφανειακή τάση πραγματοποιείται απόσπαση της σταγόνας από το ηλεκτρόδιο

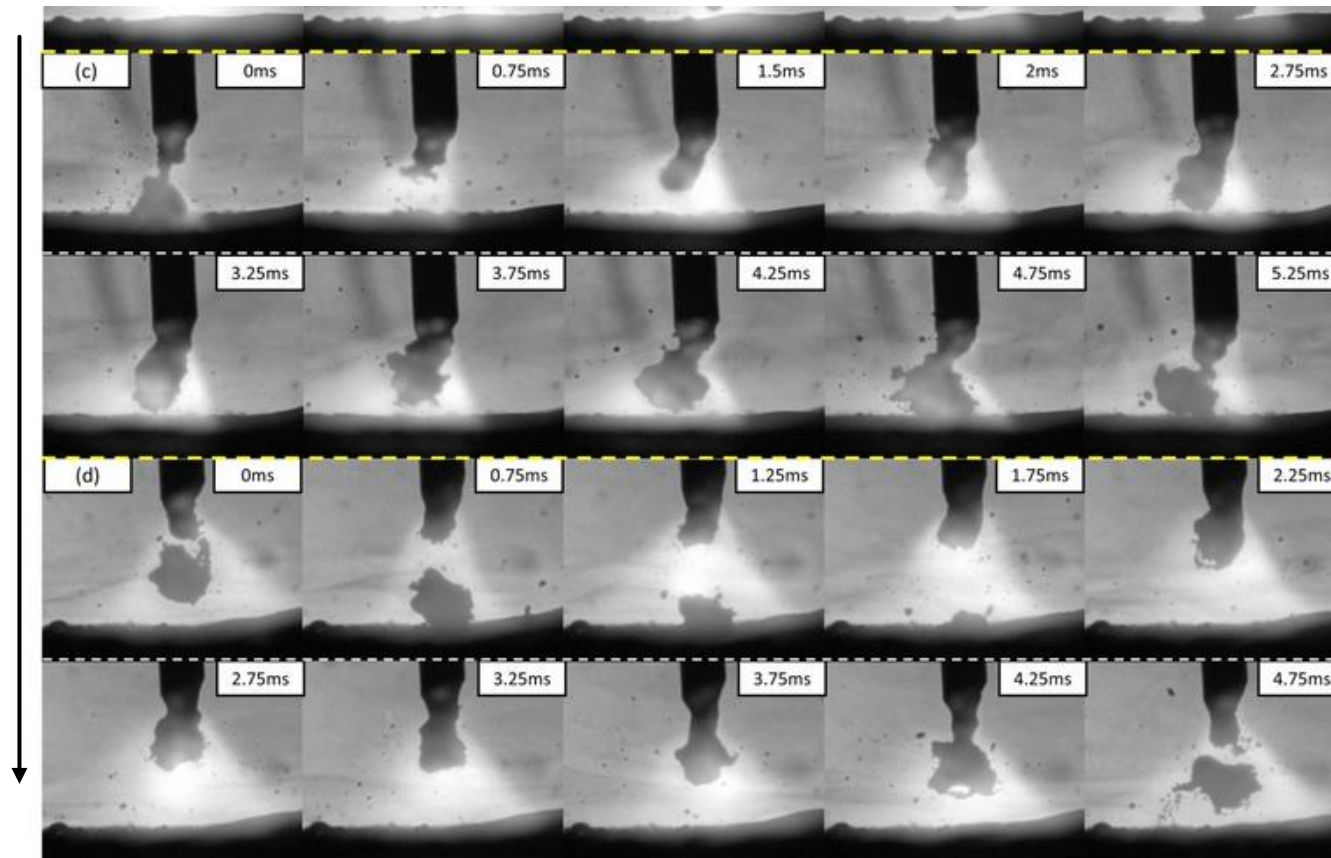
Επίδραση Si και Mn στη μεταφορά υλικού σε επενδυμένα ηλεκτρόδια

Αύξηση συγκέντρωσης Si
και Mn



Επίδραση Si και Mn στη μεταφορά υλικού σε επενδυμένα ηλεκτρόδια

Περαιτέρω αύξηση
συγκέντρωσης Si και Mn



Ρυθμός τήξης

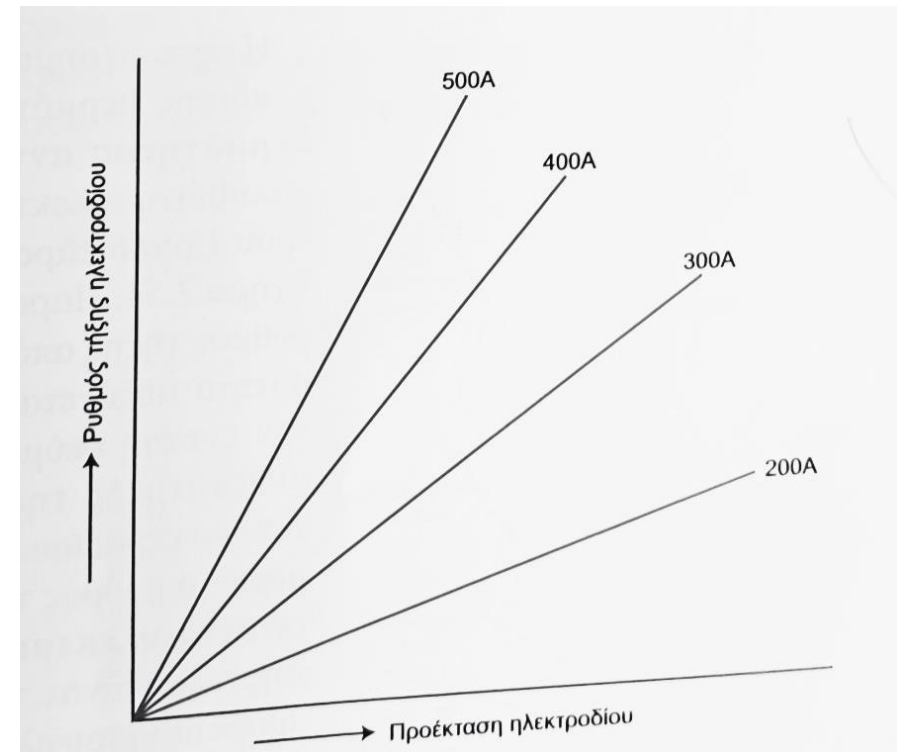
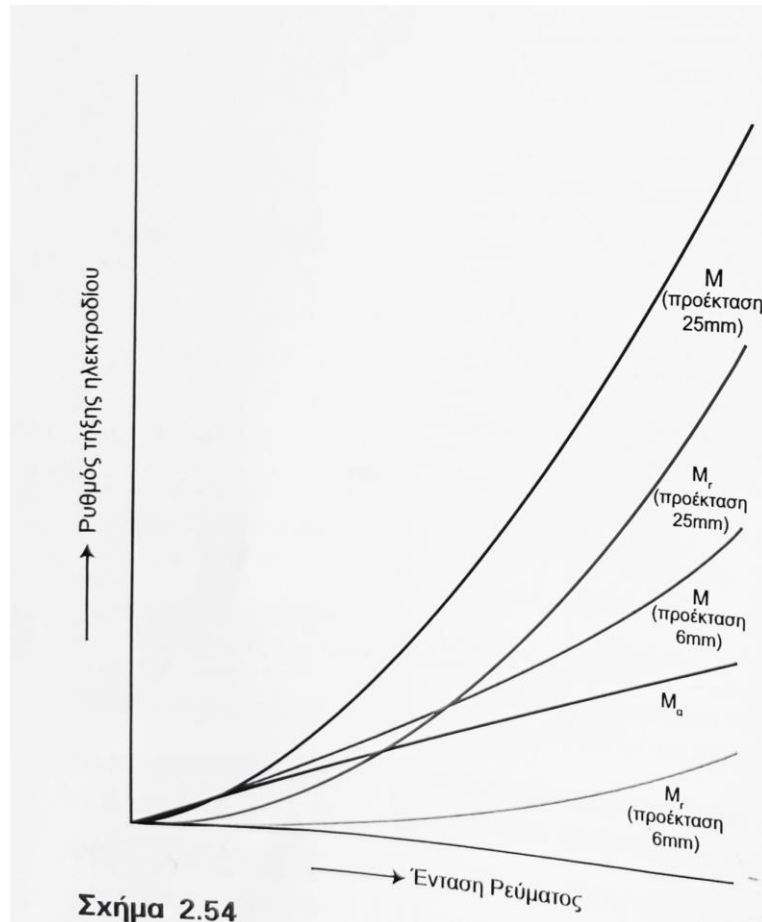
Η τήξη προκαλείται από την θερμική ενέργεια στο ηλεκτρόδιο. Οι μορφές θερμικής ενέργειας στο ηλεκτρόδιο είναι:

- ❑ Θερμότητα Joule
 - ❑ Θερμότητα λόγω της κρούσης ιόντων, θερμιονική εκπομπή, ανασυνδιασμοί, ιονισμός → λόγω φυσικών παραγόντων
 - ❑ Συναγωγή
 - ❑ Ακτινοβολία
 - ❑ Αγωγή από τη σταγόνα στο ηλεκτρόδιο
- } αμελητέες

Ρυθμός τήξης λόγω θερμότητας Joule

- ❑ Επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την τήξη
- ❑ Με την αύξηση της έντασης του ρεύματος ο ρυθμός τήξης αυξάνεται εκθετικά
- ❑ Επίσης παρατηρείται γραμμική αύξηση του ρυθμού τήξης λόγω θερμότητας Joule, με την αύξηση της προέκτασης του ηλεκτροδίου

Ρυθμός τήξης λόγω θερμότητας Joule

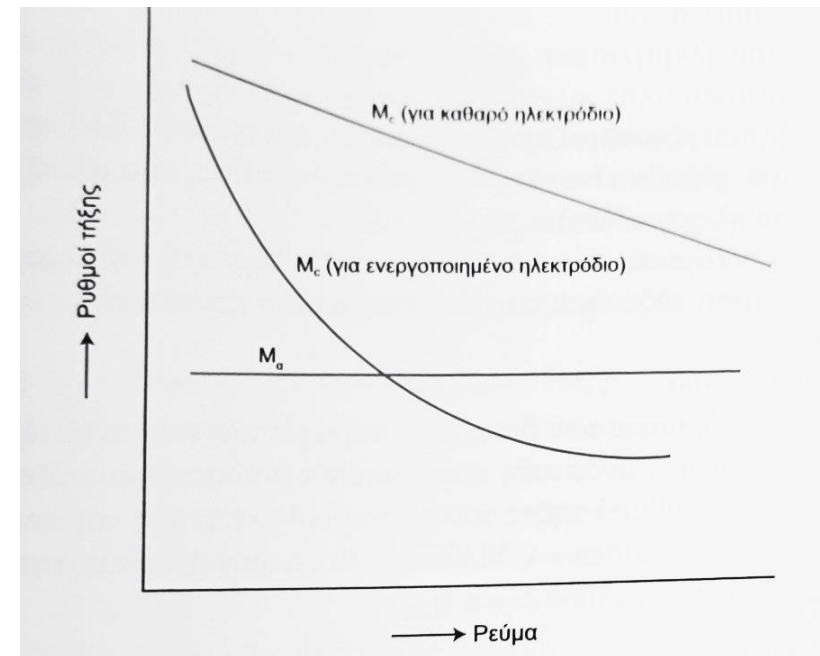


Ρυθμός τήξης λόγω φυσικών παραγόντων

- ❑ Στην άνοδο είναι σχεδόν ανεξάρτητη της έντασης του ρεύματος
- ❑ Στην κάθοδο παρατηρείται μείωση του ρυθμού τήξης με την αύξηση της έντασης του ρεύματος
- ❑ Σε επενδυμένα ηλεκτρόδια αυτό οφείλεται στην πτώση τάσης
- ❑ Έχειδειχτεί ότι η τάση στην κάθοδο είναι συνάρτηση του δυναμικού ιονισμού. Τα στοιχεία και οι ενώσεις στην επένδυση ιονίζονται πιο εύκολα
- ❑ Συνεπώς προκύπτει πτώση τάσης στην κάθοδο

Ρυθμός τήξης λόγω φυσικών παραγόντων

- ❑ Σε γυμνά ηλεκτρόδια ο μηχανισμός πτώσης του ρυθμού τήξης με την αύξηση του ρεύματος δεν έχει ξεκαθαριστεί
- ❑ Μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους
- ❑ Στην πτώση τάσης λόγω ιονισμού ή
- ❑ Στην αύξηση της θερμοκρασίας των σταγόνων



Επίδραση προστατευτικών αερίων

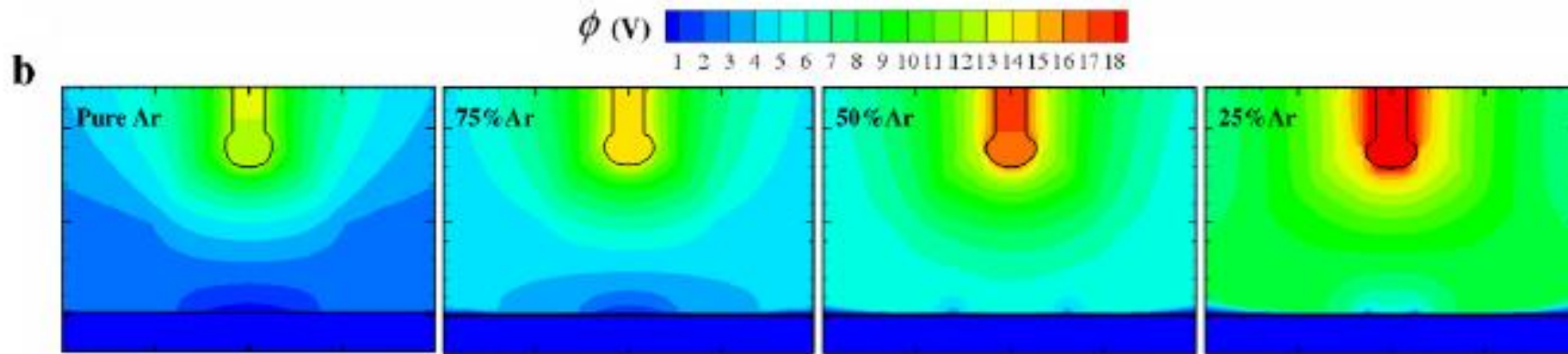
- ❑ Σε βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κυρίως Ar και He
- ❑ Όμως λόγω του κόστους του He, σε περίπτωση που είναι απαραίτητο χρησιμοποιούνται μίγματα Ar και He
- ❑ Με χρήση CO₂ σταθερή μεταφορά υλικού προκύπτει μόνο κατά τη μεταφορά υλικού με βύθιση και σε χαμηλές εντάσεις ρεύματος

Αέριο	Διάμετρος σταγόνας (mm)
Ar	0.4
Ar+20%O ₂	0.6
N ₂ +20%O ₂	2.2
N ₂ +20%H ₂	2.6
He	3.0
CO ₂	4.0
H ₂	4.2

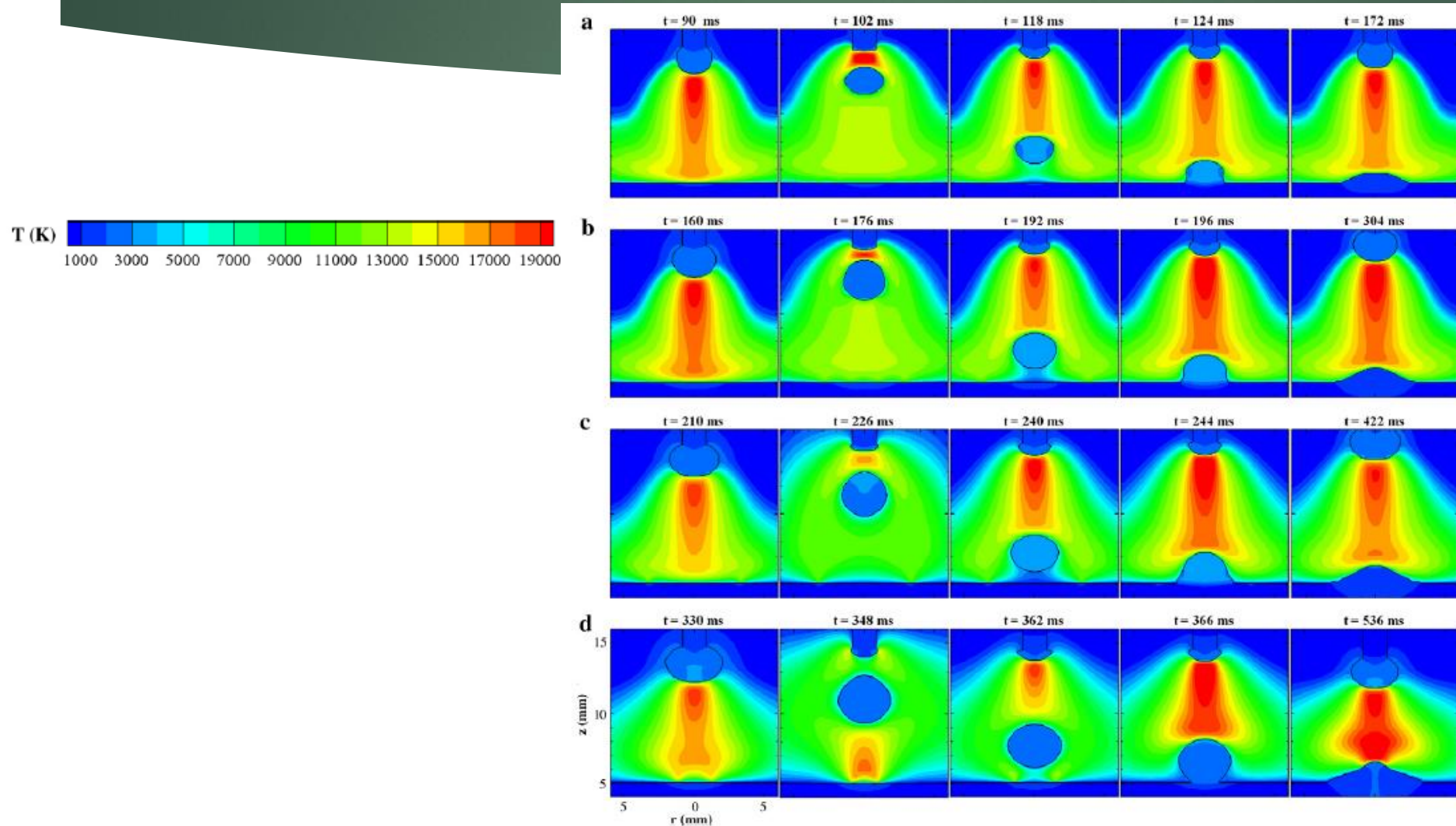
Επίδραση προστατευτικών αερίων

- ❑ Στις συγκολλήσεις τόξου με χρήση He αντί Ar ή μιγμάτων τους με μεγάλη περιεκτικότητα He
- ❑ Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διείσδυση διότι το He σε σχέση με το αργό έχει
- ❑ Καλύτερη θερμική αγωγιμότητα
- ❑ Απαιτεί μεγαλύτερη τάση ανάφλεξης, αφού έχει μεγαλύτερο δυναμικό ιονισμού
- ❑ Μικρότερη πυκνότητα, προκαλώντας μικρότερες θερμικές απώλειες

Επίδραση προστατευτικών αερίων



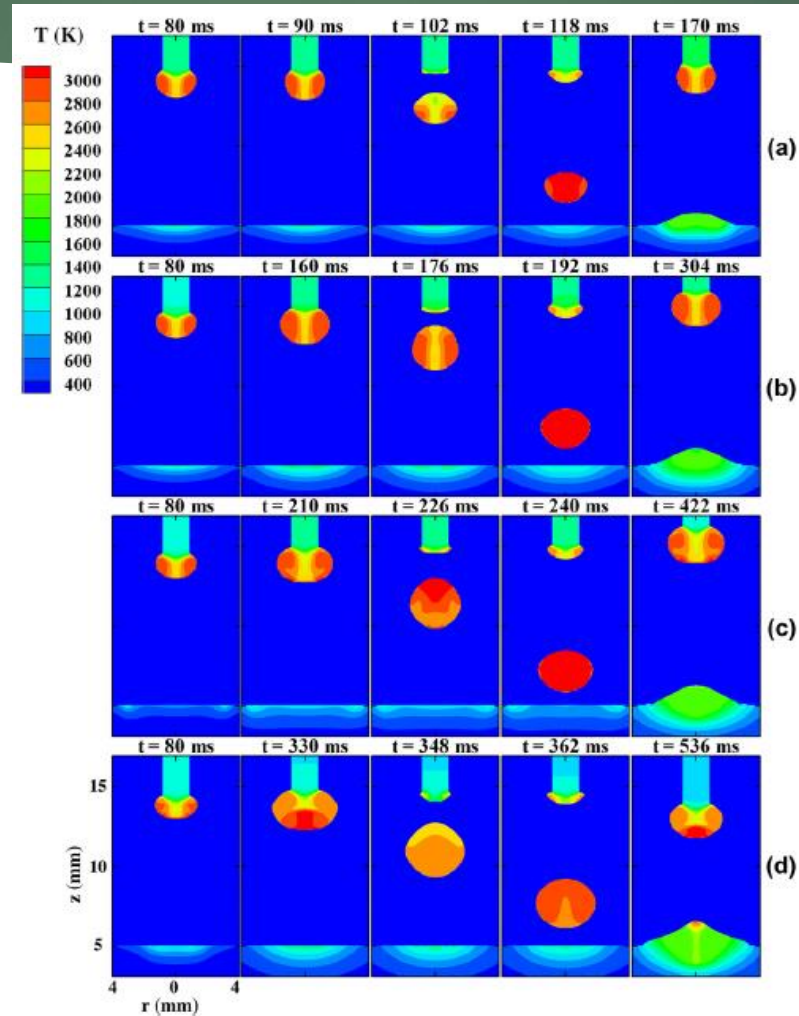
Επίδραση προστατευτικών αερίων



Κατεύθυνση αύξησης
περιεκτικότητας He

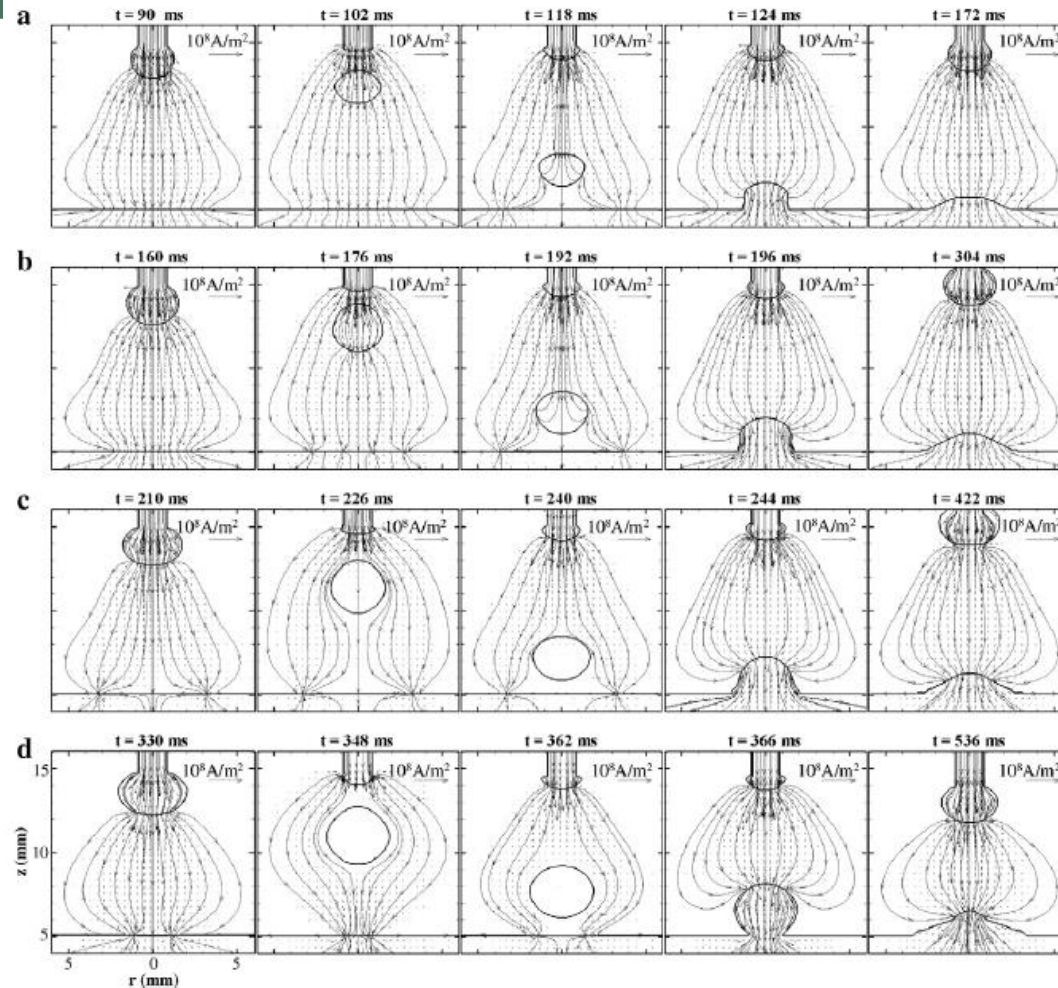
Επίδραση προστατευτικών αερίων

Κατεύθυνση
αύξησης
περιεκτικότητας He



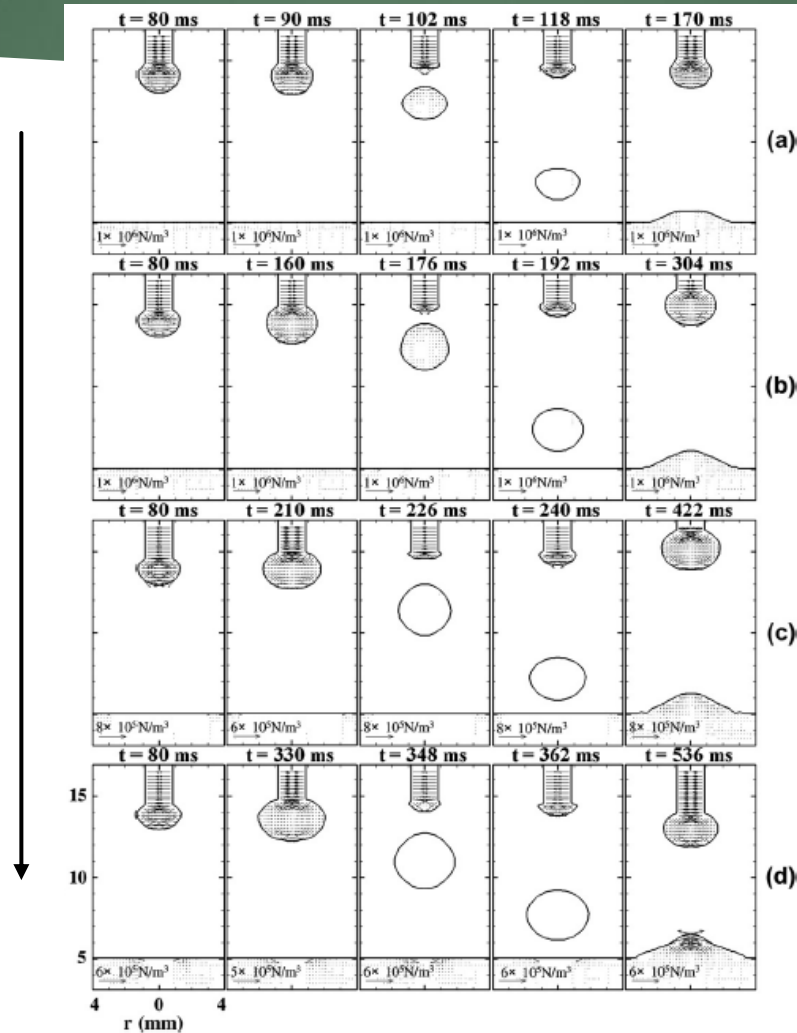
Επίδραση προστατευτικών αερίων

Κατεύθυνση
αύξησης
περιεκτικότητας He

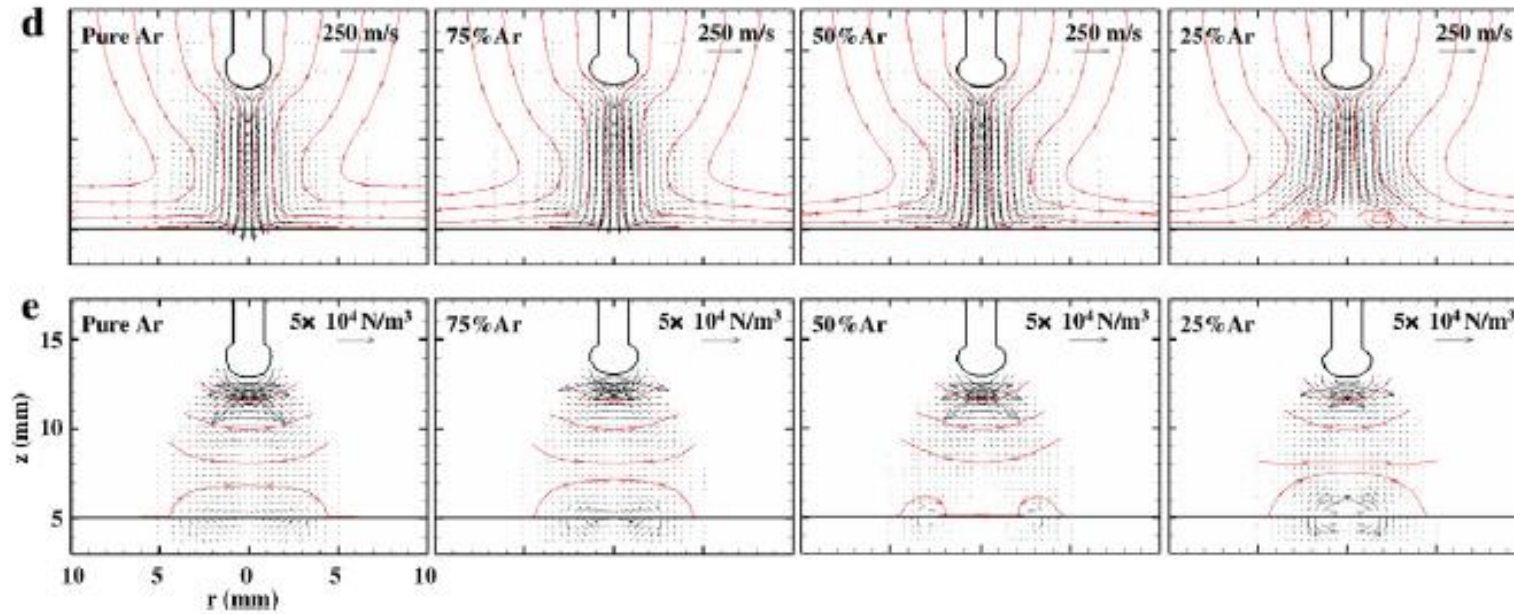


Επίδραση προστατευτικών αερίων

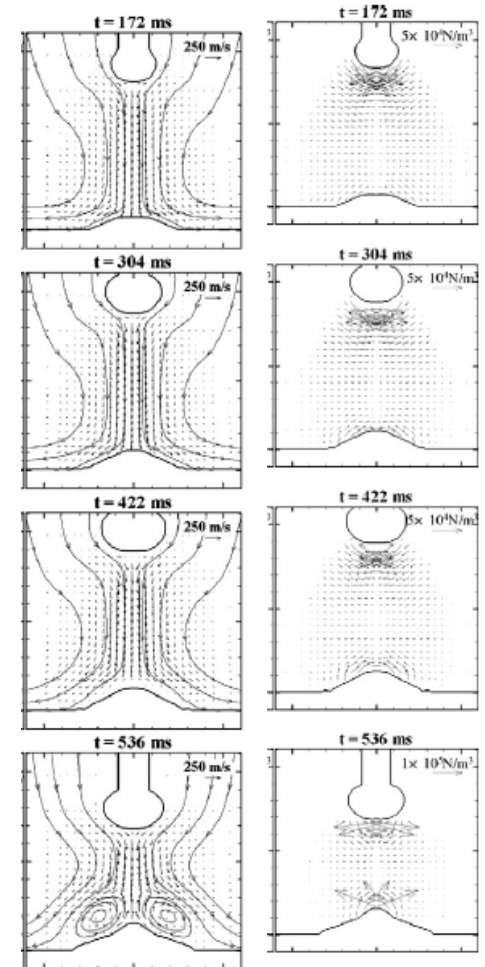
Κατεύθυνση
αύξησης
περιεκτικότητας He



Επίδραση προστατευτικών αερίων



Κατεύθυνση
αύξησης
περιεκτικότητας
He



Ερωτήσεις - Απορίες