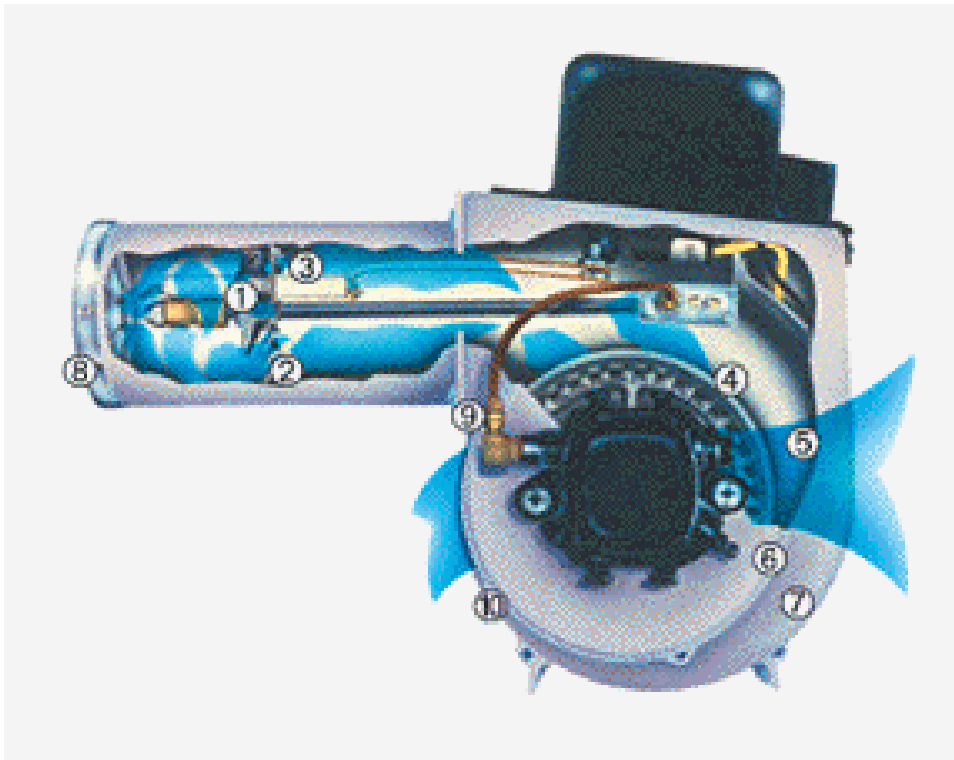


πιο μεγάλοι αφήνοντας λίγο διάκενο στο πλαίσιο του καυστήρα. Υπάρχει επίσης, όπως φαίνεται σε τομή στο σχ.12 (σημείο 2), ένα πρόσθετο κάλυμμα από λεπτό μεταλλικό φύλλο, που προσαρμόζεται στο πλαίσιο που στερεώνεται μέσα στον ανεμιστήρα, με σκοπό να κατευθύνει τον αέρα προς τα πτερύγια του ανεμιστήρα ενώ ταυτόχρονα δεν επιτρέπει σε τμήμα του αέρα να ανακυκλώνεται, περνώντας από το ανοικτό άκρο του ανεμιστήρα. Στο πλαίσιο του καυστήρα βρίσκεται μια μικρή εγκοπή για τη διαφυγή του αέρα από τον ανεμιστήρα προς το σωλήνα του καυστήρα. Κατ' αυτόν τον τρόπο διατηρείται η ταχύτητα που έχει επιτευχθεί από τον ανεμιστήρα και η οποία στέλνει τον αέρα υπό πίεση στην κεφαλή διαμορφωμένης φλόγας, μέσα στο θάλαμο καύσης (σχ.9 το κάτω).



σχ. 12

2. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια με την διεύρυνση της χρήσης του Φυσικού Αερίου ως βασικού καυσίμου για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος καθώς και κόστους λειτουργίας, υπάρχει αντίστοιχα και μια στροφή στην εισαγωγή αλλά και

την αντικατάσταση των συμβατικών καυστήρων με καινούργιους που λειτουργούν με Φυσικό Αέριο.

Οι βιομηχανικοί καυστήρες που λειτουργούν με καύσιμο Φ.Α. χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές και θερμικές κατεργασίες που φθάνουν μερικές φορές τους 2000°C και έχουν σχέση με στερεά, υγρά και αέρια όπως π.χ. ξηραντήρια χαρτιού και ινοτσιμέντου, κλωστοϋφαντουργεία, λουτρά με λιωμένα μέταλλα, χυτήρια, βιομηχανίες χάλυβα με τμήματα σφυρηλάτησης, σωληνουργεία, τήξη αλουμινίου, τήξη μετάλλου σκράπ και κάθε είδους φούρνους κεραμικών, γυαλιού κλπ.

Το φυσικό αέριο έχει το πλεονέκτημα της καλής και χωρίς υπολείμματα καύσης. Κατά την καύση του δεν παράγεται αιθάλη και θείο, γίνεται μεγάλη εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων, συνδυάζεται με το πετρέλαιο ή με άλλο αέριο καύσιμο και δε χρειάζεται χώρος για δεξαμενή αποθήκευσης του.

Κατά τη καύση του φυσικού αερίου παράγονται σχετικά χαμηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα. Οι υδρογονάνθρακες στα καυσαέρια είναι αμελητέοι, οι ποσότητες σε μονοξείδιο του άνθρακα είναι περιορισμένες, δεν παράγονται οξείδια βαρέων μετάλλων αλλά και ούτε ενώσεις φθορίου και χλωρίου. Επίσης δεν υπάρχει πρόβλημα στην επεξεργασία των καυσαερίων και είναι το πλέον ενδεδειγμένο καύσιμο στις ενεργοβόρες βιομηχανίες με εστίες, φούρνους, κλιβάνους κλπ.

Ο φούρνος περιβάλλεται από πυράντοχους και θερμομονωμένους τοίχους στους οποίους προσάγεται θερμότητα, με σκοπό να επεξεργασθούμε ένα υλικό όπως π.χ. τον χάλυβα που θερμαίνεται στους 1100°C – 1340°C . Για αποφυγή θερμικών κοπώσεων η εστία καύσης κατασκευάζεται από μαγνησίτη. Οι βιομηχανικοί καυστήρες τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις και διαφορετικές διατάξεις μέσα σε κάθε φούρνο. Μερικές φορές έχουμε και επανακυκλοφορία καυσαερίων για επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας και μεγαλύτερη απόδοση ενώ υπάρχουν ακόμη διατάξεις ανάκτησης της θερμότητας που αποβάλλεται στα καυσαέρια.

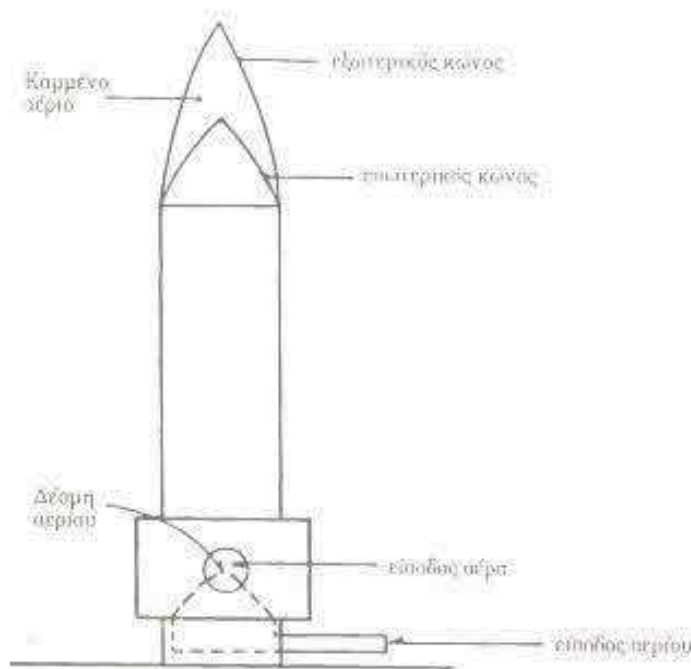
Στο κεφάλαιο αυτό θα εκθέσουμε τους βασικούς τύπους καυστήρων που λειτουργούν με Φ.Α., αφού πρώτα παρουσιάσουμε μερικά βασικά στοιχεία της

θεωρίας της καύσης του Φ.Α. ώστε να γίνουν κατανοητές οι βασικές αρχές λειτουργίας των καυστήρων αυτών.

2.1. Η φλόγα

Το φαινόμενο της καύσης είναι μια αλληλεπίδραση φυσικών και χημικών διαδικασιών. Το πιο συχνό παράδειγμα της καύσης είναι η φλόγα. Η φλόγα δημιουργείται από μια αυτοδιαδιδόμενη εξωθερμική αντίδραση που συνήθως συνοδεύεται και από μια φωτεινή ζώνη αντίδρασης. Αυτή είναι η χημική διαδικασία. Η φυσική διαδικασία περιλαμβάνει τη μεταφορά της ύλης και της ενέργειας. Η μεταφορά της θερμότητας, η διάχυση χημικών σωματιδίων και ο όγκος ροής του αερίου, όλα ακολουθούν την απελευθέρωση της χημικής ενέργειας σε μια εξωθερμική αντίδραση. Η φλόγα διαδίδεται διάμεσου ενός ακίνητου αερίου με μια χαρακτηριστική ταχύτητα που ονομάζεται ταχύτητα καύσης ή μπορεί να μένει ακίνητη στα αντιδρώντα αέρια που κινούνται προς το μέτωπο της φλόγας, με την ίδια ταχύτητα με αυτή. Γενικά ο δεύτερος τρόπος διάδοσης της φλόγας δεν είναι ιδιαίτερα σταθερός αλλά μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κατάλληλου καυστήρα

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι φλογών. Η φλόγα τύπου **προανάμειξης** και η φλόγα τύπου **διάχυσης**. Στη φλόγα τύπου προανάμειξης τα αντιδρώντα αέρια είναι αναμιγμένα πριν από την έξοδό τους από τον καυστήρα ενώ στη φλόγα τύπου διάχυσης τα αντιδρώντα αέρια εξέρχονται από τον καυστήρα σαν δυο διαφορετικές ροές και η καύση λαμβάνει χώρα στο μεταξύ τους επίπεδο. Ένα παράδειγμα φλόγας τύπου διάχυσης είναι η φλόγα του κεριού όπου καθώς η θερμότητα της φλόγας προκαλεί την εξάτμιση του κεριού το οποίο στη συνέχεια παίρνει το ρόλο του καυσίμου και καίγεται καθώς αναμιγνύεται με τον αέρα.



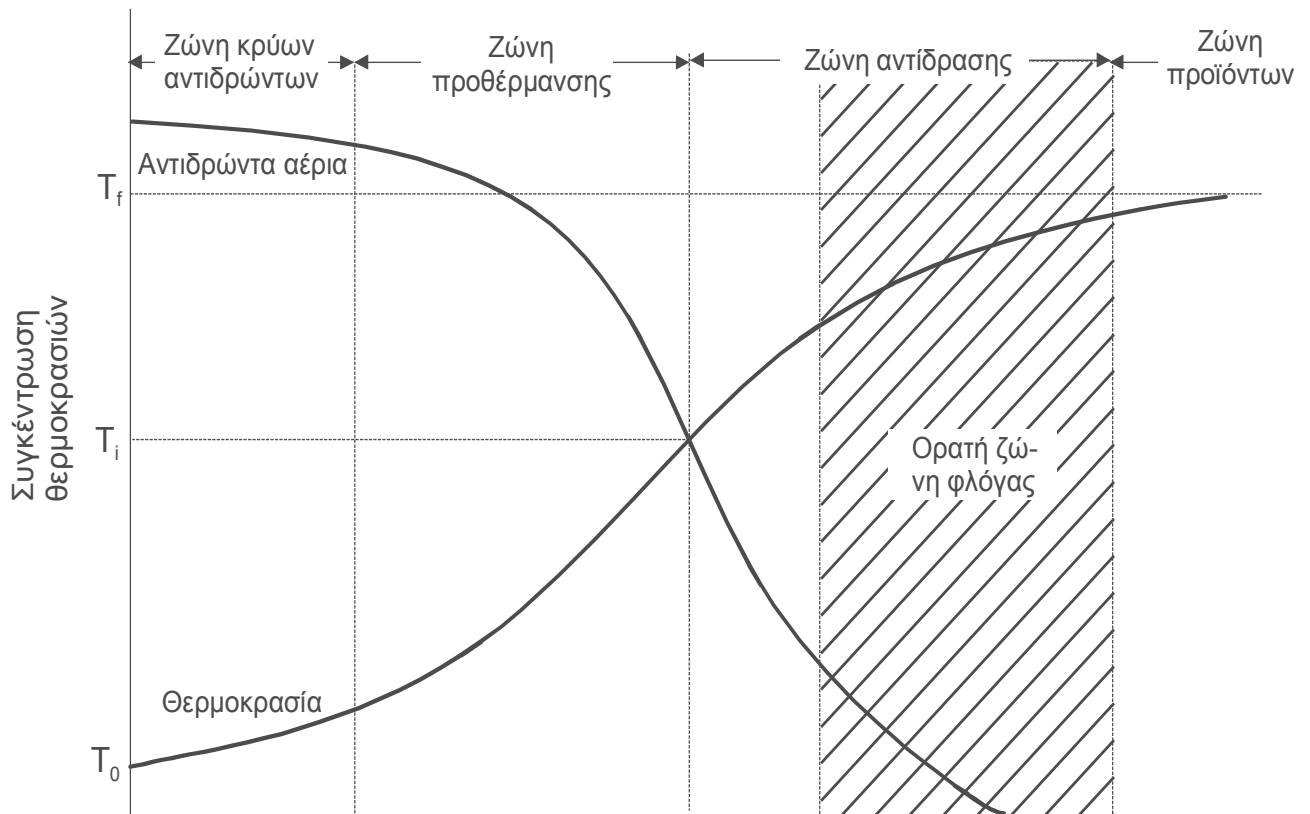
σχ. 13

Η πολύ γνωστή λυχνία του Bunsen (σχ.13) συνδυάζει και τους δύο τύπους φλόγας. Το καύσιμο αέριο, καθώς εξέρχεται από το ακροφύσιο στην βάση του καυστήρα, απορροφά αέρα, σύμφωνα με την αρχή του Venturi, και τα δυο αέρια αναμειγνύονται καθώς κινούνται μαζί μέσα στον σωλήνα του καυστήρα. Ο εσωτερικός κώνος της φλόγας είναι η ζώνη αντίδρασης φλόγας τύπου **προ-**

νάμειξης. Μέχρι το στάδιο αυτό, το μείγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο έτσι ώστε η σύσταση του καμένου αερίου να μην ανταποκρίνεται σε πλήρη καύση του καύσιμου αερίου. Ο εξωτερικός κώνος της φλόγας είναι μια φλόγα τύπου **διά-**
χυσης μεταξύ του καμένου αερίου και του αέρα που το περιβάλλει.

2.1.1. Φλόγες τύπου προανάμειξης

Οι ιδιότητες της φλόγας αυτού του τύπου μπορούν να μελετηθούν θεωρώντας ένα ιδανικό μακρύ σωλήνα με σταθερή διατομή όπου η ροή του αερίου θεωρείται ως ομοιόμορφη καθ' όλη την έκταση της έτσι ώστε το μέτωπο της φλόγας να είναι σε ένα επίπεδο και κάθετο στη ροπή. Το μέγεθος της ροής ρυθμίζεται έτσι ώστε φλόγα να είναι ακίνητη, κι άρα είναι ίση σε μέγεθος αλλά με αντίθετο πρόσημο από εκείνο τη ταχύτητας καύσης. Παρακάμπτοντας τις μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν το φαινόμενο, προκύπτει ότι η πίεση και η πυκνότητα μεταβάλλονται ομοειδώς ενώ το αντίθετο συμβαίνει ανάμεσα στη πίεση και την ταχύτητα. Έτσι έχει βρεθεί ότι το καμένο αέριο μπροστά από την φλόγα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερη πίεση και πυκνότητα απ' ότι το αρχικό αέριο της αντίδρασης. Από τη λεπτομερειακή δομή της φλόγας, προκύπτει ότι η θερμοκρασία αυξάνεται ομαλά από την αρχική στην τελική κατά-



σχ. 14

σταση. Αντίστοιχα η συγκέντρωση των προϊόντων θα αλλάξει με παρόμοιο τρόπο, ενώ η συγκέντρωση των μορίων του καύσιμου δείχνει να μειώνεται. Όλα αυτά απεικονίζονται διαγραμματικά στο σχήμα 14. Το ορατό τμήμα της φλόγας βρίσκεται στην ζώνη αντίδρασης και η φωτεινότητα οφείλεται κυρίως σε ρίζες όπως CH , C_2 , CHO , NH και NH_2 που διεγείρονται και οι οποίες επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση.

Ένα στοιχείο ενός αερίου που ρέει μπορεί να δεχθεί θερμότητα με δύο τρόπους, δηλαδή ή μέσω των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν μέσα του ή μέσω της αγωγής από το πιο ζεστό αέριο που βρίσκεται μπροστά του. Από τα παραπάνω έχει αποδειχτεί ότι υπάρχουν δυο διακεκριμένες περιοχές που διαχωρίζονται από το σημείο της ανάφλεξης όπως φαίνεται από τη καμπύλη της θερμοκρασίας (σχ.14.). Πράγματι η ροή της θερμότητας στην περιοχή που αρχίζει στις χαμηλές θερμοκρασίες οφείλεται στην αγωγή θερμότητας που είναι μεγαλύτερη από αυτή που χάνεται γιατί η κλίση της εφαπτόμενης στην καμπύλη είναι μεγαλύτερη στην πλευρά της υψηλής θερμοκρασίας. Ωστόσο σ' αυτήν την υψηλή θερμοκρασία η αναλογία της χημικής αντίδρασης έχει αυξη-

θεί σημαντικά έτσι ώστε να παραχθεί μια μεγάλη ποσότητα θερμότητας από τη χημική αντίδραση. Έτσι λοιπόν η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται κατά μήκος της φλόγας αν και με μικρότερο ρυθμό και τελικά φθάνει σε μια σταθερή τιμή όπου όλο το καύσιμο αέριο έχει πλέον καταναλωθεί και η αντίδραση σταματάει. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η καμπύλη της συγκέντρωσης (σχ.14). Η κύρια κατανάλωση του καύσιμου αερίου πριν από την ανάφλεξη οφείλεται στη διάχυση του καύσιμου μέσα στη φλόγα, ενώ μετά την ανάφλεξη η κατανάλωση οφείλεται στη χημική αντίδραση. Η πρώτη περιοχή πριν από την ανάφλεξη ονομάζεται **ζώνη προθέρμανσης** και η δεύτερη περιοχή μετά την ανάφλεξη αποτελεί τη **ζώνη της αντίδρασης**.

Οι δυο ποσότητες μιας τυπικής στρωτής ($Re < 2320$) φλόγας τύπου προανάμειξης που μπορούν να οριστούν και να μετρηθούν είναι η ταχύτητα καύσης (S_u) καθώς και η αδιαβατική θερμοκρασία της. Ως ταχύτητα καύσης ενός μείγματος καύσιμου - οξειδωτικού ορίζεται η ταχύτητα με την οποία το μέτωπο της φλόγας κινείται κάθετα προς την επιφάνεια του διαμέσου ενός γειτονικού άκαυστου αερίου. Η ακριβής μέτρηση της είναι δύσκολη αλλά οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 1,0 m/s και παρουσιάζουν μικρή εξάρτηση από την πίεση και τη θερμοκρασία των αντιδρώντων αερίων. Συνήθως η ταχύτητα της καύσης αυξάνεται σε: καθεστώς μειωμένων πιέσεων ή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ενώ ο λόγος καύσιμου/οξειδωτικού παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα καύσης η οποία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της με μείγμα στοιχειομετρικό. Ο Πίνακας 1 δείχνει τα όρια ανάφλεξης της θερμοκρασίας φλόγας και τη μέγιστη ταχύτητα καύσης για διάφορα μείγματα αερίων υδρογονανθράκων. Για τον υπολογισμό των σχετικών χαμηλών αδιαβατικών θερμοκρασιών φλογών, αυτό που χρειάζεται είναι ο υπολογισμός της απελευθερούμενης ενθαλπίας. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>3000 K) ένα σημαντικό ποσοστό αυτής της απελευθερούμενης ενέργειας απορροφάται από τη διά-

Πίνακας 1

Αντιδρώντα	Όρια ανάφλεξης (%) κατ' όγκο		Θερμοκρασία φλόγας (K)	S_u (m/s)
	Κατώτερο	Ανώτερο		
CH ₄ + O ₂	5,1	61	3010	4,50
CH ₄ + αέρας	5,3	15	2222	0,45
C ₂ H ₆ + αέρας	3,1	15	2244	0,40
C ₃ H ₈ + αέρας	2,2	9,5	2250	0,43

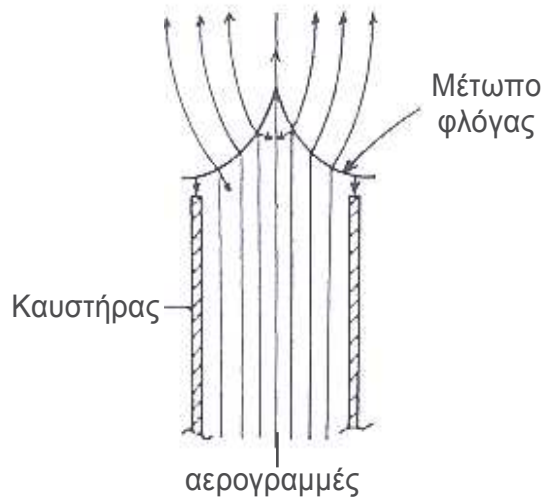
σπαση των στοιχείων των προϊόντων, οπότε και ο υπολογισμός δυσκολεύει κατά πολύ. Γενικά πάντως ο πειραματικός υπολογισμός της αδιαβατικής θερμοκρασίας μιας φλόγας πιο ακριβής.

Οι φλόγες μπορούν να υπάρξουν μόνο μέσα σε περιορισμένο εύρος σύστασης καύσιμου και οξειδωτικού το οποίο ορίζεται από τα όρια της ανάφλεξης. Τα όρια αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 σε ποσοστιαία κατά όγκο αναλογία του καύσιμου στον αέρα. Η ταχύτητα της καύσης μεγιστοποιείται στη στοιχειομετρική της σύσταση και πέφτει καθώς πλησιάζουμε τα όρια της ανάφλεξης. Με τον όρο στοιχειομετρική σύσταση εννοούμε την ακριβή ποσότητα καύσιμου και οξειδωτικού που χρειάζεται για να γίνει τέλεια καύση.

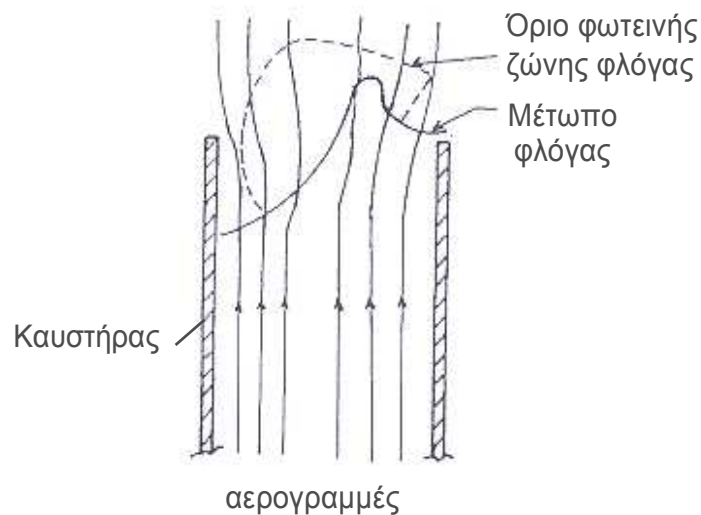
2.1.2. Σταθεροποίηση της φλόγας στους καυστήρες πρόμειξης

Όπως ήδη αναφέρθηκε το κύμα της καύσης έχει μια χαρακτηριστική ταχύτητα, της οποίας η διεύθυνση είναι κάθετη προς το διάμεσο του γειτονικού άκαυστου αερίου, οπότε προκειμένου να επιτευχθεί μια ακίνητη φλόγα θα πρέπει το αέριο μείγμα να ρέει με την ίδια ταχύτητα αλλά σε αντίθετη διεύθυνση. Βέβαια μια τέτοια φλόγα θα είχε μια ουδέτερη σταθερότητα και η θέση της δεν θα ήταν ελεγχόμενη. Ακριβώς λοιπόν οι καυστήρες στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές επιτυγχάνουν τη σταθεροποίηση της φλόγας. Πράγματι η σταθεροποίηση της φλόγας μέσα στους καυστήρες επιτυγχάνεται μέσα από μια στεφάνη ή ισοδύναμα και από ένα απλό μεταλλικό δακτύλιο. Η συμβολή τους συνίσταται στην αφαίρεση θερμότητας από τη φλόγα με συνέπεια τη μείωση της ταχύτητας της καύσης στην περιοχή του. Η θέση ενός κύματος καύσης το οποίο βρίσκεται αμέσως επάνω από την στεφάνη του καυστήρα, προσδιορίζεται από τα σχετικά μεγέθη της ταχύτητας καύσης καθώς και της ταχύτητας ροής. Έτσι αν η ταχύτητα της καύσης είναι μεγαλύτερη της ταχύτητας ροής, τότε η φλόγα θα μετακινηθεί προς τα κάτω μέχρις ότου η ταχύτητα καύσης να μειωθεί τόσο ώστε να γίνει ίση προς την ταχύτητα ροής. Αντίθετα αν η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της καύσης, η φλόγα θα σηκωθεί ψηλά μέχρις ότου οι δύο ταχύτητες να εξισωθούν. Συνεπώς ανάμεσα σε συγκεκριμένα όρια ταχύτητας ροής, η φλόγα θα παραμένει περιορισμένη στη στεφάνη του καυστήρα.

Για μη στροβιλώδεις ροές ($Re < 2300$) σε καυστήρες, η ταχύτητα ροής είναι



σχ. 15



σχ. 16

πολύ χαμηλή κοντά στα τοιχώματα επάνω από τη στεφάνη του καυστήρα, αλλά αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε προς το κέντρο του δίνοντας έτσι ένα παραβολικό προφίλ ταχύτητας. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε όλη την έκταση της στεφάνης αλλά και έξω από τη ζώνη απόσβεσης, η ταχύτητα της καύσης είναι μικρότερη από την ταχύτητα ροής καθώς ισούται προς τη συνιστώσα της που είναι κάθετη προς στο μέτωπο της φλόγας. Αυτό έχει ως συνέπεια η μορφή της φλόγας να είναι τραβηγμένη προς τα επάνω, δημιουργώντας έτσι τη γνωστή κωνική όψη της φλόγας (σχ. 15).

Είναι γνωστό ότι η φλόγα στο καυστήρα σταθεροποιείται μόνο μέσα σε ορι-

σμένα όρια της ταχύτητας ροής. Έτσι αν η ταχύτητα ροής μειώνεται, θα φθάσει σε κάποιο σημείο της διαμέτρου του καυστήρα σε μια τιμή χαμηλότερη από την ταχύτητα της καύσης. Στο όριο της ανάδρομης φλόγας αυτή γίνεται ασταθής και διαδίδεται μέσα στο σωλήνα του καυστήρα, ειδικά δε λίγο πριν το όριο αυτό η φλόγα μπορεί να κλίνει (σχ.16). Η αντίθλιψη της φλόγας επιτρέπει τη παραμόρφωση της ροής, οπότε στην περιοχή που η ταχύτητα ροής έχει ελαττωθεί η φλόγα πλέον εισέρχεται στον καυστήρα (σχ.16), αλλά λόγω του περιορισμού που δημιουργεί ο σωλήνας του καυστήρα, η φλόγα δεν μπορεί να διαδοθεί άλλο μέσα σε αυτόν ενώ όπως δείχνει το σχ.16 η φλόγα με κλίση παραμένει.

Η εισχώρηση του ατμοσφαιρικού αέρα θα επηρεάσει τα χαρακτηριστικά της φλόγας στη στεφάνη του καυστήρα. Όταν η φλόγα βρίσκεται κοντά στη στεφάνη αυτό δεν έχει σημασία, αλλά καθώς η ταχύτητα της ροής αυξάνει η φλόγα μεγαλώνει σε ύψος για να επιτρέψει και τη ταχύτητα της καύσης να αυξηθεί επίσης. Η εισχώρηση όμως στο μείγμα του ατμοσφαιρικού αέρα έχει τελικά αντίθετα αποτελέσματα καθώς η ταχύτητα της καύσης μειώνεται. Έτσι η φλόγα θα εξακολουθεί να μεγαλώνει σε ύψος και τελικά στα όρια του σβησίματος γίνεται ασταθής.

Οι τιμές των ταχυτήτων ροής στα δυο όρια εξαρτώνται από τις διαστάσεις του καυστήρα και από τη σύσταση του μείγματος. Για μείγματα πλούσια σε καύσιμο και υψηλές ταχύτητες ροής, συμβαίνει ένα δεύτερο φαινόμενο. Λόγω της εισχώρησης του ατμοσφαιρικού αέρα, το μείγμα φτάνει στη στοιχειομετρική σύσταση του πάνω από τον καυστήρα και αυτό μαζί με την αυξημένη ταχύτητα καύσης έχει σαν ως αποτέλεσμα, το σχηματισμό μιας φλόγας σε κάποια απόσταση πάνω από τον καυστήρα. Αυτός ο τύπος φλόγας έχει επίσης δυο όρια σταθερότητας. Όταν η ταχύτητα του μείγματος ελαττώνεται, η φλόγα κατεβαίνει προς τη στεφάνη του καυστήρα, και σε πολύ υψηλές τιμές της ταχύτητας ροής η φλόγα σβήνει.

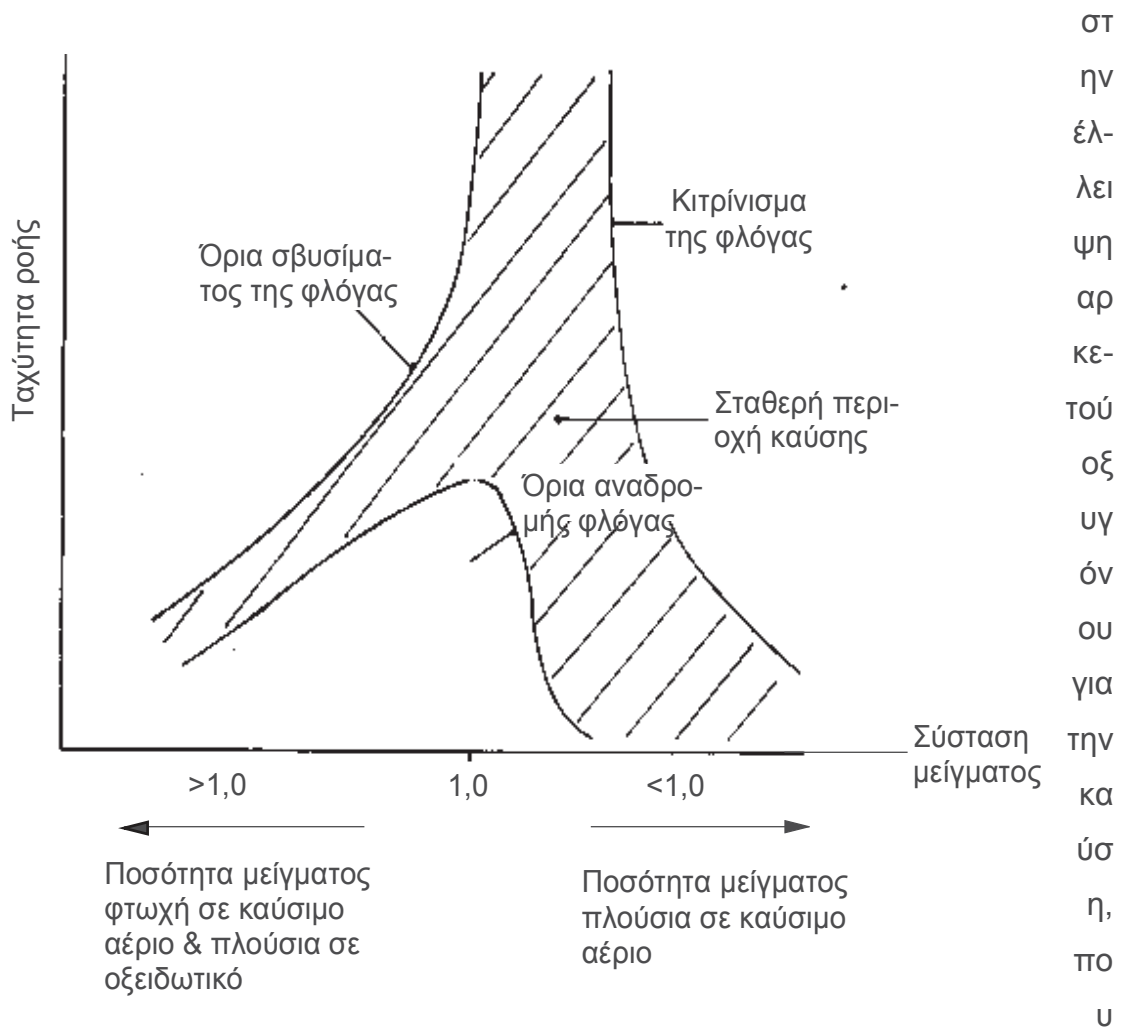
2.1.3. Η καύση του Φυσικού Αερίου στους καυστήρες πρόμειξης

Με τον όρο Φυσικό Αέριο (ΦΑ) νοείται ως επί το πλείστον το Μεθάνιο (CH_4) καθώς το (ΦΑ) παρουσιάζει συνήθως περιεκτικότητα σε Μεθάνιο που υπερ-

βαίνει το 93%. Σύμφωνα με τη χημική αντίδραση που εκφράζει την καύση του Μεθανίου θα έχουμε $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_2\text{O}_2$ που σημαίνει ότι για κάθε όγκο CH_4 χρειάζονται 2 όγκοι O_2 . Η σύσταση της προανάμειξης στις φλόγες πρόμειξης του καυστήρα εκφράζεται από το λόγο ισοδυναμίας (Φ) που είναι ο πραγματικός λόγος της ποσότητας του οξειδωτικού προς εκείνον που απαιτείται για την τέλεια καύση, δηλαδή

$$\Phi = \frac{\text{Ποσότητα οξειδωτικού}}{\text{Ποσότητα οξειδωτικού για τέλεια καύση}}$$

Στο σχ.17 απεικονίζεται διαγραμματικά η περιοχή της ταχύτητας της ροής σε συνάρτηση προς τη σύσταση του μείγματος, μέσα στην οποία η φλόγα είναι σταθερή. Το κιτρίνισμα της φλόγας για μείγμα πλούσιο σε καύσιμο οφείλεται



σχ. 17

έχει ως συνέπεια την πυράκτωση των σωματιδίων του άνθρακα χωρίς όμως να μπορεί να το κάψει αυτό.

Καθώς η ταχύτητα ροής αυξάνει, ο λόγος Ισοδυναμίας (Φ) μειώνεται προκειμένου να συμβεί το σβήσιμο της φλόγας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σε υψηλές ταχύτητες ροής, η διείσδυση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου είναι μεγάλη κι έτσι η ταχύτητα καύσης θα μειωθεί με αποτέλεσμα η ταχύτητα ροής να υπερβαίνει κατά πολύ την ταχύτητα καύσης και να προκαλεί τελικά το σβήσιμο της φλόγας.

Η αναδρομή της φλόγας συμβαίνει σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ροής για μείγματα που είναι πλούσια σε: οξειδωτικό, κι αυτό γιατί αυτά τα μείγματα επιτρέπουν την καύση και μέσα στον καυστήρα, καθότι έχουν την απαραίτητη ποσότητα οξειδωτικού.

Επίσης στο σχήμα 17 απεικονίζεται η σταθερή περιοχή καύσης μιας φλόγας φυσικού αερίου.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν λοιπόν παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι τα σημεία που πρέπει να λάβει κάποιος υπόψη του κατά το σχεδιασμό ενός βιομηχανικού καυστήρα πρόμειξης, συνοψίζονται στα εξής.

1. Η διάμετρος του σωλήνα του καυστήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απόσταση απόσβεσης
2. Για να δημιουργηθεί σταθερός κώνος φλόγας, έχει βρεθεί ότι η ταχύτητα της ροής πρέπει να βρίσκεται μεταξύ $2Su$, $5Su$
3. Η ροή του σωλήνα πρέπει να είναι στρωτή, δηλαδή $Re < 2320$
4. Η διάμετρος του κάθε ακροφυσίου του καυστήρα θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη διάμετρο απόσβεσης.

2.1.4. Τυρβώδης καύση

Μέχρι τώρα αναφερθήκαμε σε καταστάσεις όπου η ροή θεωρείται ως υποκρίσιμη. Ωστόσο αν η διάμετρος του καυστήρα ή η ταχύτητα της ροής αυξηθεί, διαμορφώνεται μια κατάσταση όπου η ροή είναι πλέον ανώμαλη κι όχι πια υποκρίσιμη ενώ το ίδιο αποτέλεσμα της τυρβώδους ροής μπορεί να προκύψει από κάποιο αντικείμενο που παρεμβάλλεται μέσα στη ροή. Ανεξάρτητα πάντως της αιτίας η τυρβώδης ροής σ' ένα σύστημα, έχει πολύ έντονα αποτελέ-