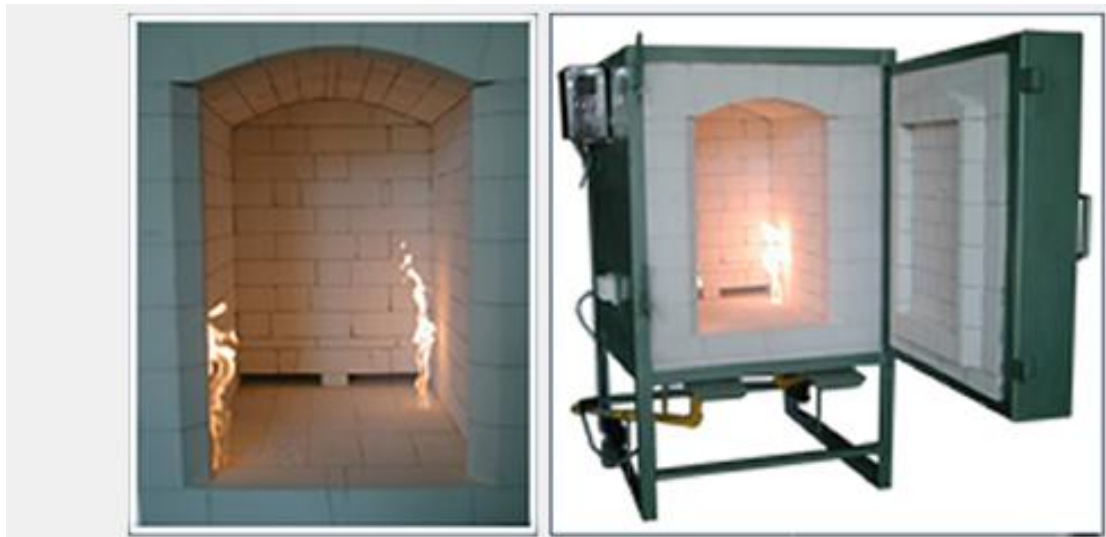




Ελληνικό Κέντρο Αργιλλομάζης Α.Ε.

Εδρα: Ν.Κηφισιά • Γ. Λύρα 55 • 145 64 Τηλ. 80 74 201 - 80 74 554

ΟΠΤΗΣΙΣ (ΨΗΣΙΜΟ) ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ



**Μ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ
Μ. ΤΣΑΠΟΓΑ**

ΕΛΚΕΑ 2010

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΨΗΣΙΜΑΤΟΣ

Για να γίνει αντιληπτή σφαιρικά και διεξοδικά η διαδικασία ψησίματος πρέπει να δοθεί έμφαση στο τι ακριβώς σημαίνουν οι όροι ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ και να επικεντρώσουμε την ανάλυσή μας σε καύσιμες ύλες όπως φυσικό αέριο, προπάνιο, βουτάνιο, πετρέλαιο, λιθάνθρακες, ξύλα και αντίστοιχα σε καμίνια που λειτουργούν με αυτά τα καύσιμα.

Κάθε καύσιμο από τα ανωτέρω χρειάζεται οξυγόνο για να αναφλεγεί, και αν και διαφέρουν από φυσική άποψη είναι όμοια χημικώς.

Όλα αποτελούνται κυρίως από ΑΝΘΡΑΚΑ, ΥΔΡΟΓΟΝΟ και ΘΕΙΟ. Κάθε άλλο συστατικό των υπό συζήτηση καυσίμων είναι ασήμαντο στην διαδικασία καύσης.

Όταν καίγονται ξύλα, φωτιστικό αέριο, προπάνιο, βουτάνιο, πετρέλαιο λιθάνθρακες έχουμε έναν βασικό τύπο άνθρακα και υδρογόνου (CH) που είναι το κάθε καύσιμο και οξυγόνο (O) που παρέχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το οξυγόνο βρίσκεται στον αέρα σε μια σχέση 1 προς 5. Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένα μέρος οξυγόνου και τέσσερα μέρη άζωτου υπάρχουν σε πέντε μέρη αέρα. Όταν ο ατμοσφαιρικό αέρας ενωθεί με το καύσιμο (CH) και αναφλεγεί στην καύση παράγει θερμότητα μόνο το οξυγόνο (O) ενώ το άζωτο (N) δεν συνεισφέρει τίποτε.

Ο άνθρακας αντιδρά ιδιαίτερα με το οξυγόνο παράγοντας οξειδία. Αυτά είναι κυρίως μονοξείδιο του άνθρακα CO και διοξείδιο του άνθρακα CO₂.

Σε μια ικανοποιητική καύση έχουμε την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σαν αποτέλεσμα της σωστής ανάμειξης οξυγόνου (O) και άνθρακα (C).

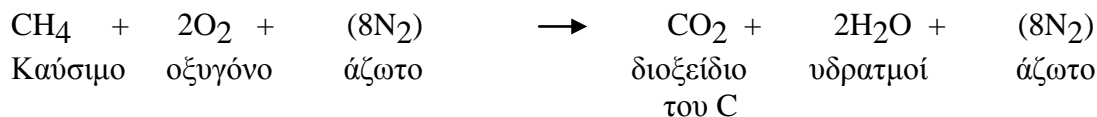
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) παράγεται όταν έχουμε υπερβολικό καύσιμο να αναμιγνύεται με το οξυγόνο ή από την άλλη πλευρά μειωμένη ποσότητα οξυγόνου να παίρνει μέρος στη διαδικασία της καύσης.

Το υδρογόνο σαν συστατικό του καυσίμου αντιδρά με το οξυγόνο παράγοντας H₂O υδρατμό. Τα υπόλοιπα 4/5 του ατμοσφαιρικού αέρα είναι όπως είπαμε άζωτο (N) και δεν εισφέρει τίποτε στην καύση απλώς απορροφά θερμικές μονάδες (Btus) και εγκαταλείπει αυτήν ως καυσαέριο.

ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Σε μια ιδανική καύση έχουμε μία άκρως ικανοποιητική ανάμειξη καυσίμου (CH) και ατμοσφαιρικού αέρα, όλο το οξυγόνο που εισέρχεται στο καμίνι αντιδρά με ολόκληρη την ποσότητα της καύσιμης ύλης (CH) η εν λόγω ατμόσφαιρα ψησίματος ονομάζεται ΟΥΔΕΤΕΡΗ.

Εν αντιθέσει με την ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ (πλεόνασμα οξυγόνου) και την ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ (πλεόνασμα άνθρακα και υδρογόνου) η χημική αντίδραση για ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ψησίματος έχει ως εξής :

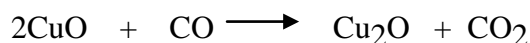


ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Σε συνθήκες αναγωγής υπάρχει πλεόνασμα καυσίμου στην ατμόσφαιρα του καμινιού επομένως το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα αντιδρά με ένα μέρος του καυσίμου και σαν προϊόν της αντίδρασης έχουμε μονοξείδιο του άνθρακα κύρια και λιγότερο

(πηλού) είτε των υαλωμάτων. Όταν η κεραμική μάζα ή το υάλωμα χάσει οξυγόνο από τα οξειδία τους αυτά μερικώς ανάγονται στην μεταλλική μορφή τους .

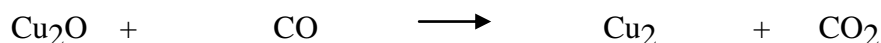
Π.χ , το μαύρο οξείδιο του χαλκού (CuO) πάνω από τους 400°C εύκολα ανάγεται από μαύρο σε κόκκινο (Cu₂O) κατά την αντίδραση



Ένα πράσινο επομένως υάλωμα με ποσοστό οξειδίου χαλκού 1% εύκολα στρέφεται με αναγωγή σε κόκκινο.

Το υάλωμα πρέπει να είναι αλκαλικό και το κόκκινο σταθεροποιείται με την ύπαρξη 1-3 % οξειδίου κασσιτέρου (SnO) .

Συνεχίζοντας με βαρύτερη αναγωγή το κόκκινο οξείδιο του χαλκού ανάγεται ολοκληρωτικά στην μεταλλική του μορφή



Κόκκινο οξείδιο
Χαλκού

μονοξείδιο άνθρακα
(αναγωγική ατμόσφαιρα)

μεταλλικός
χαλκός

Διοξείδιο του άνθρακα που
φεύγει σαν υγραέριο

- Αναγωγική ατμόσφαιρα επίσης χρειάζονται και οι περιέχουσες μικρά ποσοστά 1-3% οξειδίου του σιδήρου (Fe₂O₃) άργιλοι υψηλής θερμοκρασίας (STONEWARE) για να αποκτήσουν χρώμα και υφή αυτό γίνεται ανάγοντας στην άνοδο του καμινιού στο ψήσιμο του υαλώματος και μεταξύ των θερμοκρασιών 900° - 1100° C.

Ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα αναγωγής της μάζας (πηλού) περιλαμβάνει μια μέτρια αναγωγική ατμόσφαιρα αρχίζοντας από τους 900 ° C και όταν το καμίνι φτάσει στους 1100 ° C επανερχόμαστε σε ουδέτερη ατμόσφαιρα , αυτό βέβαια επιτυγχάνετε με κινήσεις όπως αυξομείωση του πρωτεύοντος αέρα που αναμειγνύεται με την καύσιμη ύλη και επίσης αυξομείωση του δευτερεύοντα αέρα δηλαδή αυτού που εισάγεται στο καμίνι από τις εισόδους των καυστήρων καθώς και με αυξομειώσεις της εξόδου των καυσαερίων (άνοιγμα- κλείσιμο του συρταριού της καμινάδας – damper).

Συνεχίζοντας το παραπάνω ψήσιμο αφού έχουμε τελειώσει με την αναγωγή στην μάζα έχουμε να επιλέξουμε

- να ψήνουμε οξειδωτικά υαλώματα συνεχίζουμε από τους 1100 ° C έως την τελική θερμοκρασία με ουδέτερη ατμόσφαιρα
- να ψήνουμε αναγωγικά υαλώματα κάνουμε ρυθμίσεις για αναγωγή.

Το ποσοστό της αναγωγής πρέπει να είναι πάντα το αναγκαίο ώστε να παράγεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πολλοί κεραμίστες πιστεύουν ότι η βαριά αναγωγική ατμόσφαιρα θα έχει και το καλύτερο αποτέλεσμα , στην πραγματικότητα όταν ελεύθερα σωματίδια άνθρακα παράγονται σαν αποτέλεσμα υπερβολικού άκαυστου καυσίμου η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα μειώνεται δραστικά και τα αναγωγικά αποτελέσματα μειώνονται.

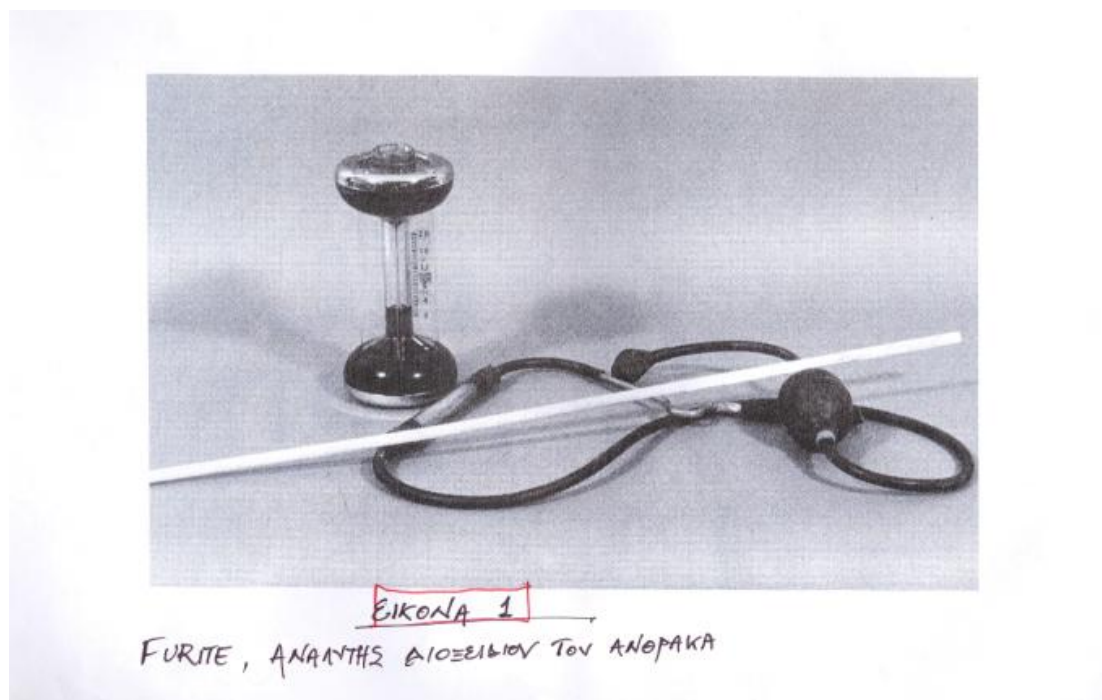
ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Συνήθως υαλώματα που χαρακτηρίζονται οξειδωτικά δεν χρειάζονται μία περίσσεια οξυγόνου στην ατμόσφαιρα του καμινιού, ή ουδέτερη ατμόσφαιρα είναι αυτή που ενδείκνυται καθ' όσον έχουμε σωστή (ΙΔΑΝΙΚΗ) καύση που σημαίνει το μικρότερο δυνατό κόστος και όχι δημιουργία μονοξειδίου του άνθρακα που θα συντελέσει στην αλλαγή του χρώματος των χρωστικών οξειδίων και πυροχρωμάτων (stains).

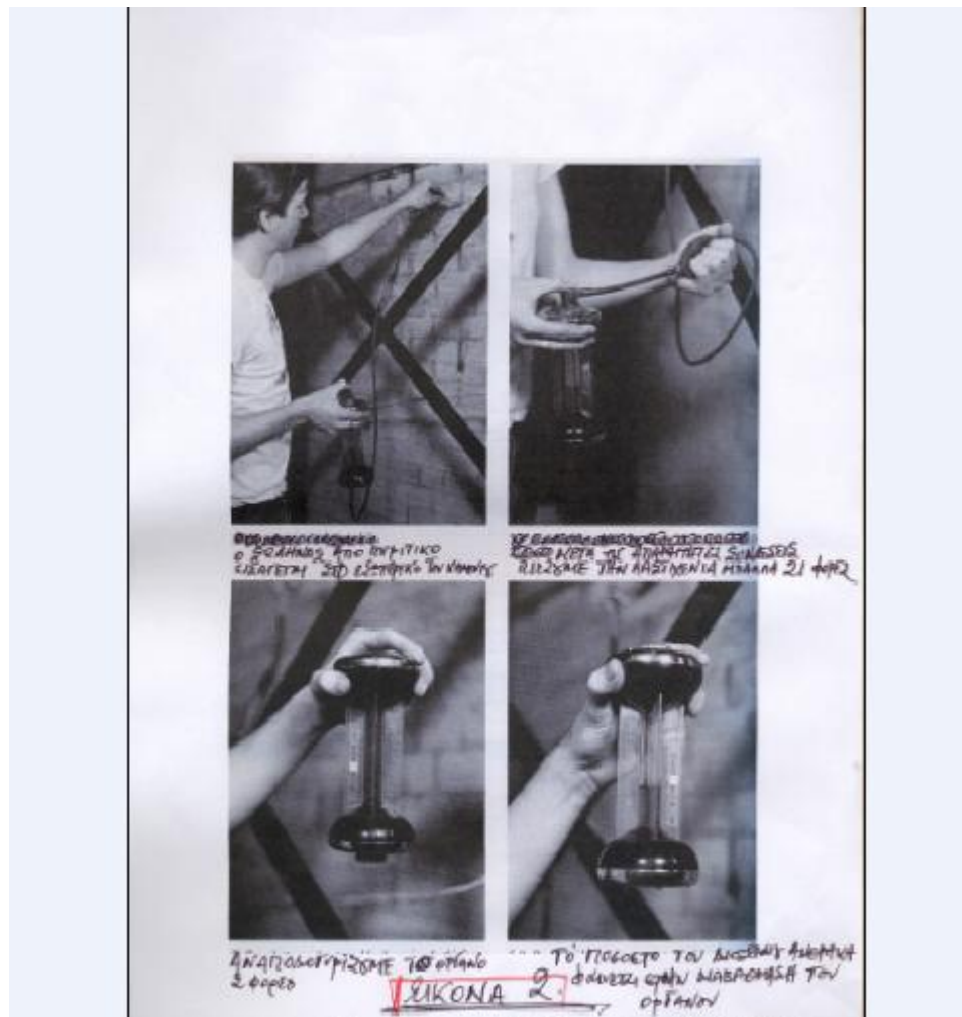
Τα ηλεκτρικά καμίνια συχνά χρησιμοποιούνται για να ψήνουν οξειδωτικά υαλώματα. Ενδιαφέρον είναι σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι είναι λανθασμένη η εντύπωση αυτή, τα ηλεκτρικά καμίνια στην πραγματικότητα ψήνουν σε ουδέτερη ατμόσφαιρα και μάλιστα σε ψησίματα μπισκουι (Α' ψήσιμο) δημιουργούν μια ελαφρά αναγωγική ατμόσφαιρα και στα πρώτα στάδια του ψησίματος οπότε καίγονται όλα τα οργανικά που περιέχονται στην άργιλο αλλά και στην συνέχεια όταν καίγονται τα ανθρακικά και θειικά και μάλιστα η ατμόσφαιρα γίνεται περισσότερο αναγωγική αν δεν υπάρχει σωστός εξαερισμός του καμινιού.

Για τους παρακάτω λόγους ένας γενικά αποδεκτός κανόνας είναι στα ψησίματα μπισκουι έως τους 650°C να ψήνουμε όσο το δυνατόν οξειδωτικά δηλαδή στα ηλεκτρικά καμίνια με ανοικτό στο συρτάρι της οροφής και με λειτουργία των συστημάτων εξαερισμού, αν βέβαια υπάρχουν, στα δε καμίνια με στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα με οξειδωτική ατμόσφαιρα και κατάλληλες ρυθμίσεις ως τους 650°C ώστε να δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρατμοί (H_2O) και με ασφάλεια αυτά να εγκαταλείψουν τον πηλό που ψήνεται αλλά και την ατμόσφαιρα του καμινιού μέσω του εξαερισμού ή της καμινάδας.

ΕΙΚΟΝΑ 1.Αναλυτής διοξειδίου του άνθρακα.



ΕΙΚΟΝΑ 2. Διαδικασία μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα με την συσκευή FURITE



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

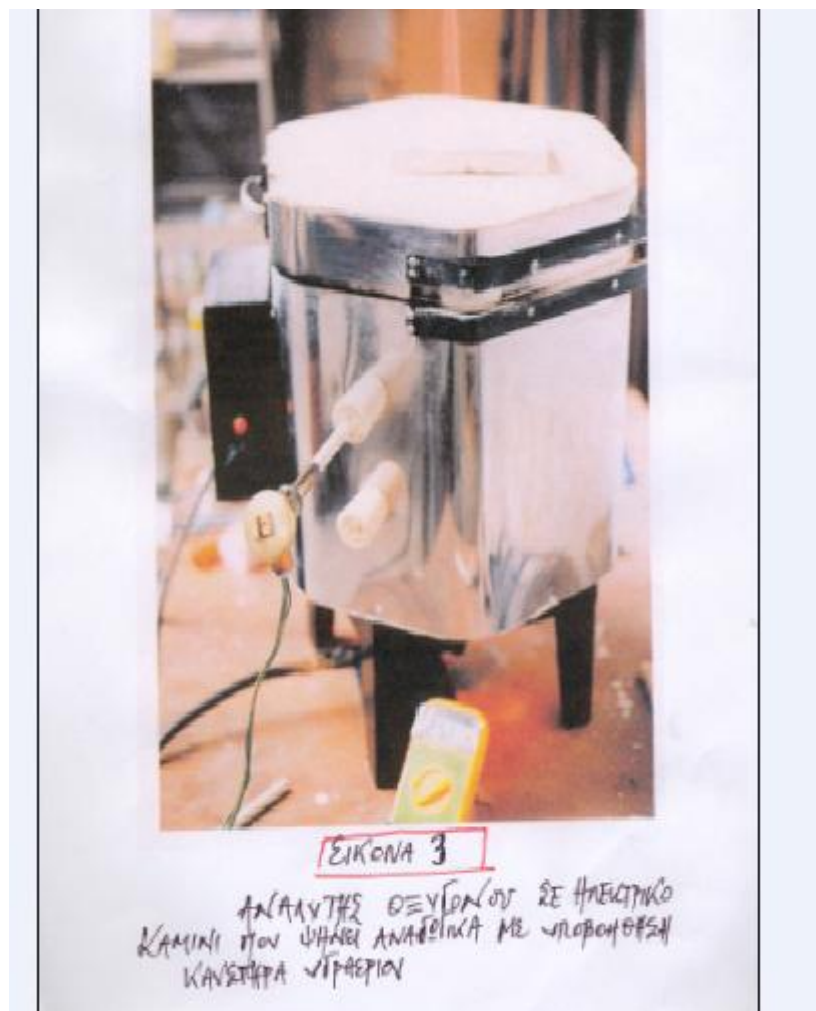
Υπάρχουν στην αγορά πολλά όργανα τα οποία μπορούν να προσδιορίσουν τον βαθμό της ανάμειξης καύσιμου οξυγόνου που παίρνουν μέρος στην διαδικασία της καύσης μετρώντας άλλα τον άνθρακα άλλα το οξυγόνο και άλλα το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα του καμινιού σε κάθε χρονική στιγμή της διαδικασίας ψησίματος.

Για πολλά χρόνια η μόνη σχετικά φτηνή συσκευή για τους κεραμίστες ήταν η FURITE αναλυτής διοξειδίου του άνθρακα. (ΕΙΚΟΝΑ 1 και 2).

Ένας σωλήνας από πυριτικό μήκους περίπου 70 εκατοστών εισάγεται στο καμίνι, πιέζοντας μια λαστιχένια μπάλα που υπάρχει στο άλλο άκρο του σωλήνα απορροφάται ένα δείγμα της ατμόσφαιρας του καμινιού σε ένα θάλαμο που περιέχει ένα υγρό (υπεροξείδιο του καλίου), μετά την απορρόφηση ο όγκος του υγρού στον θάλαμο έχει μεγαλώσει και έχουμε μια ένδειξη σε ένα διαβαθμισμένο σωλήνα του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στην συγκεκριμένη στιγμή της μέτρησης στην ατμόσφαιρα του καμινιού. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) τόσο πιο οξειδωτική είναι η καύση.

Η ευαισθησία της παραπάνω συσκευής μας επιτρέπει βέβαια να ξέρουμε αν έχουμε οξείδωση ή αναγωγή αλλά όχι αν μια ουδέτερη ατμόσφαιρα βρίσκεται προς την πλευρά της οξείδωσης ή της αναγωγής εδώ υπάρχει μια απόκλιση της τάξης του 10%.

ΕΙΚΟΝΑ 3 (ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΑΜΙΝΙ ΠΟΥ ΨΗΝΕΙ ΑΝΑΓΩΓΙΚΑ ΜΕ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΥΓΡΑΕΡΙΟΥ)



Περισσότερο ευαίσθητα όργανα μέτρησης του άνθρακα και του οξυγόνου χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία κεραμικών ειδών εξοπλισμένα με πανάκριβα ηλεκτρονικά συστήματα που τα καθιστούν απαγορευτικά για τα εργαστήρια κεραμικής.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε αισθητήρας οξυγόνου που προσφέρει ένα υπερευαίσθητο και φθινό όργανο για τα εργαστήρια κεραμικής που μετρά αξιόπιστα την ατμόσφαιρα του καμινιού.

Ο αισθητήρας οξυγόνου είναι πολύ απλός, μια μικρή σφαίρα από οξείδιο ζirkονίου και οξείδιο υτtrίου αντιδρά με την αύξηση της θερμοκρασίας με τα άτομα του οξυγόνου. Αν το μισό της σφαίρας απομονωθεί από το άλλο μισό έτσι ώστε κάθε μισό να βλέπει μια ατμόσφαιρα με διαφορετική ποσότητα οξυγόνου τότε η σφαίρα μας λειτουργεί σαν μια μικρή μπαταρία παράγοντας μια ηλεκτρεγερτική δύναμη

(emf) ή voltage(τάση). Αυτή η δύναμη μπορεί να διαβαστεί σε millivolts σε ένα απλό ψηφιακό βολτάμετρο.

Λοιπόν σε έναν σωλήνα από αλουμίνα η σφαίρα μας είναι κολλημένη στο ένα άκρο έτσι ώστε αν η σωλήνα μπει σε ένα καμίνι όπως το πυρόμετρο το ένα μισό της σφαίρας να έρχεται σε επαφή με την κάθε φορά επικρατούσα ατμόσφαιρα ψησίματος ενώ το άλλο μισό βλέπει τον ατμοσφαιρικό αέρα στον χώρο που υπάρχει το καμίνι. Η διάταξη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα κίνηση ηλεκτρονίων πράγμα που σημαίνει τάση (voltage) και που εμφανίζεται ψηφιακά σε μια οθόνη. (ΕΙΚΟΝΑ 3)

Οι ενδείξεις από 0.01 έως 0.09 αντιστοιχούν σε οξειδωτική ατμόσφαιρα, από 0.1 έως 0.2 αντιστοιχούν σε ουδέτερη ατμόσφαιρα και τέλος οι ενδείξεις από 0.21 έως 0.7 αντιστοιχούν σε διάφορες αναγωγικές έως βαριά αναγωγικές ατμόσφαιρες.

Το παραπάνω όργανο εξοπλισμένο με ένα πυρόμετρο πλατίνας –ροδίου 13% δίνει στην ίδια οθόνη και την θερμοκρασία και όπως γίνεται αντιληπτό μας επιτρέπει μετά από λεπτομερείς σημειώσεις ενδείξεων ατμόσφαιρας, θερμοκρασίας και χρόνου να επαναλάβουμε πετυχημένους κύκλους ψησίματος εφ' ενός και εφ' ετέρου να πετύχουμε οικονομικό κύκλο ψησίματος εκμεταλλευόμενοι την καλύτερη δυνατή ανάμειξη καυσίμου – οξυγόνου (ουδέτερη ατμόσφαιρα).

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Σε μερικά οξείδια οι δεσμοί με το οξυγόνο είναι ασθενέστεροι από ότι σε άλλα και σε αναγωγική ατμόσφαιρα το οξυγόνο των οξειδίων εκλύεται ευκολότερα ή δυσκολότερα.

Σε ελαφρά αναγωγική ατμόσφαιρα

Το πρώτο και ευκολότερα αναγόμενο μεταλλικό οξείδιο είναι το οξείδιο του αντιμονίου (Sb_2O_3) γι' αυτό και χρησιμοποιείται σε οξειδωτικά υαλώματα πάντως η ελαφρά αναγωγή δεν επηρεάζει το χρώμα του. Το επόμενο οξείδιο μετάλλου που επηρεάζεται είναι το οξείδιο του κασσιτέρου (Sn_2O_3) και αν το υάλωμα δεν έχει λιώσει ανάγεται σε γκρι χρώμα, αν όμως το υάλωμα έχει ήδη λιώσει επηρεάζεται μόνο η επιφάνειά του δημιουργώντας ένα ιριδίζων τελείωμα, γι' αυτό το οξείδιο κασσιτέρου είναι χρήσιμο υλικό στην τεχνική των λούστρων και του Raku.

Αυξάνοντας την αναγωγή επηρεάζονται κατά σειρά τα μεταλλικά οξείδια .

Pb_3O_4, PbO	Οξείδιο Μολύβδου
Bi_2O_3	Οξείδιο Βισμούθιου
CuO	Οξείδιο Χαλκού
ZnO	Οξείδιο Ψευδαργύρου
NiO_2, Ni_2O_3, NiO	Οξείδιο Νικελίου
CoO, Co_3O_4	Οξείδιο Κοβαλτίου
Fe_2O_3	Οξείδιο Σιδήρου
MnO_2	Οξείδιο Μαγγανίου

Και τελευταίες σε αυτήν τη σειρά οι εμπορικές φρίτες Μολύβδου (Μονοπυριτικός Μόλυβδος και Διπυριτικός Μόλυβδος)

Οι γνωστές φρίτες μολύβδου

Μονοπυριτικός Μόλυβδος	$PbO.SiO_2$
Διπυριτικός Μόλυβδος	$PbO.2SiO_2$

ανάγονται όπως είπαμε τελευταίες κατά σειρά στην προαναφερθείσα λίστα και μετά το οξείδιο του βισμούθιου και το οξείδιο του χαλκού και γι' αυτό και είναι δυνατή η παραγωγή λούστρων χαλκού – βισμούθιου στις τεχνικές των λούστρων και Raku. Τα οξείδια Ψευδαργύρου, Κοβαλτίου και Μαγγανίου είναι πολύ δύσκολο να παραμείνουν στην μορφή που αποκτούμε την αναγωγή και επανοξειδώνονται .

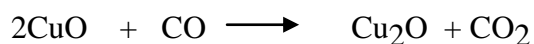
Για να αναχθούν τα οξείδια

Οξείδιο	Αργιλίου	Al ₂ O ₃
Οξείδιο	Βαναδίου	V ₂ O ₅
Οξείδιο	Τιτανίου	TiO ₂
Οξείδιο	Βαρίου	BaO
Οξείδιο	Μαγνησίου	MgO
Οξείδιο	Χρωμίου	Cr ₂ O ₃
Οξείδιο	Ασβεστίου	CaO
Οξείδιο	Νατρίου	Na ₂ O
Οξείδιο	Καλίου	K ₂ O
Οξείδιο	Πυριτίου	SiO ₂

Χρειάζεται πολύ ισχυρή αναγωγή εκτός των δυνατοτήτων των καμινιών της κεραμικής γι' αυτό και παραμένουν στην οξειδωτική τους μορφή άσχετα αν ψηθούν σε οξειδωτικό ή αναγωγικό κύκλο ψησίματος.

ΤΟ ΟΞΕΙΔΙΟ ΧΑΛΚΟΥ ΣΕ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Το οξείδιο του χαλκού είναι πολύ ευαίσθητο σε μεταβολές της ατμόσφαιρας του καμινιού καθώς και στην αναγωγή που γίνεται με πριονίδι ή άλλα αναγωγικά μέσα σε τεχνικές όπως λούστρα , Raku, πρωτόγονο ψησιμο κλπ και σε θερμοκρασίες ως 400 ° C . Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις το μαύρο οξείδιο χαλκού (CuO) μετατρέπεται σε κόκκινο (Cu₂O).



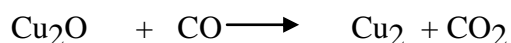
Δηλαδή το μαύρο οξείδιο του χαλκού σε αναγωγική ατμόσφαιρα παρουσία δηλαδή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) μετατρέπεται σε κόκκινο οξείδιο του χαλκού (Cu₂O) και διοξείδιο του άνθρακα που φεύγει.

Ένα πράσινο οξειδωτικό υάλωμα που περιέχει οξείδιο χαλκού σαν χρωστικό στρέφεται με αναγωγική ατμόσφαιρα σε κόκκινο, το κόκκινο αυτό όταν έχουμε οξείδιο χαλκού σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1% τείνει να γίνει βαθύ κόκκινο, βισσινύ ή καφέ. Ενώ με ποσοστά 0,3 έως 0,8 δίνει από πορτοκαλί έως δυνατά κόκκινα και πάντα σε αλκαλικό υάλωμα από 900°C έως 1280 °C χρώμα που σταθεροποιείται παρουσία οξειδίου του κασσιτέρου σε ποσοστό 2-3 φορές από ότι του χαλκού

Γνωστά φωτεινά κόκκινα χαλκού είναι τα :

Flambé (κόκκινο φωτιάς) και sang-de boeuf (αίμα βοδιού)

Αυξάνοντας την αναγωγή έχουμε το κόκκινο οξείδιο χαλκού να μετατρέπεται σε μεταλλικό χαλκό



Αυτή η αντίδραση έχει εφαρμογή στην τεχνική των λούστρων και στο Raku.

ΛΟΥΣΤΡΟ ΧΑΛΚΟΥ –ΤΕΧΝΙΚΗ ΛΟΥΣΤΡΩΝ RAKU

Ως λούστρο χαλκού χαρακτηρίζεται ένα λεπτό στρώμα μεταλλικού χαλκού στην επιφάνεια του υαλώματος.

Η ποιότητα αυτή επιτυγχάνεται με βαριά αναγωγή και με υάλωμα που περιέχει 2% έως 6% οξειδίου ή ανθρακικού χαλκού.

Το υάλωμα ψήνεται οξειδωτικά έως την τελική θερμοκρασία η οποία στην περίπτωση του λούστρου χαλκού είναι μεταξύ 900 °C και 1240 °C. Εν συνεχεία το καμίνι κρυσταλλώνει και γύρω στους 850 °C αρχίζει η αναγωγική διαδικασία, σφραγίζουμε όλους τους αεραγωγούς του καμινιού και το συρτάρι της καμινάδας και κατά τακτά χρονικά διαστήματα τροφοδοτούμε την καύση με αναγωγικό υλικό ξύλα – πριονίδι – ζάχαρη – ναφθαλίνη κλπ. Για ένα διάστημα 1-2 ώρες ώστε το καμίνι να πέσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 700 °C. Η διαδικασία αυτή αν γίνεται σε ηλεκτρικό καμίνι δεν επιφέρει μεγάλη ζημιά στις αντιστάσεις διότι αυτές είναι σβηστές καλό θα είναι πάντως μετά το ψήσιμο λούστρων σε ηλεκτρικό καμίνι να ακολουθήσει ένα οξειδωτικό ψήσιμο (μπισκουϊ) ώστε οι αντιστάσεις να επανακτήσουν το προστατευτικό τους στρώμα οξειδίου.

Άργυρος, χρυσός, πλατίνα σε μορφή ανθρακικού ή άλατος μπορεί να αναχθεί εύκολα στην μεταλλική τους μορφή όταν περιέχονται σε ένα υάλωμα με την προαναφερθείσα τεχνική του λούστρου σε χαμηλές όμως θερμοκρασίες μεταξύ 850 °C -960 °C .

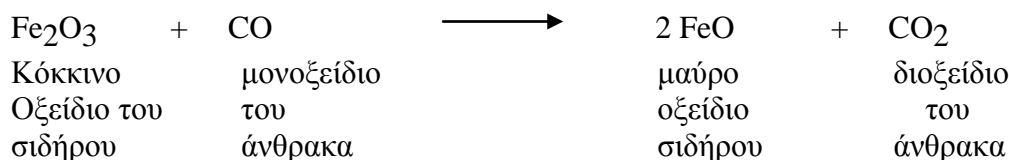
Στο εμπόριο υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός λούστρων που περιέχουν στην σύνθεσή τους αναγωγικό υλικό και μπορούν να τοποθετηθούν σε ήδη ψημένο υάλωμα και να ψηθούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 700-800 °C σε οξειδωτική ατμόσφαιρα.

Επίσης μια παρόμοια τεχνική που χρησιμοποιεί πολύτιμα μέταλλα και χαλκό γίνεται με τρίτο ψήσιμο αλλά με αναγωγική ατμόσφαιρα.

Τα υαλώματα που περιέχουν χαλκό αλλά και πολύτιμα μέταλλα σε μορφή ανθρακικού ή αλάτων σε θερμοκρασίες μεταξύ 850-950 °C δίνουν μεταλλικές επιφάνειες στην τεχνική Raku. Εδώ τα υαλωμένα αντικείμενα ψήνονται οξειδωτικά στην τελική τους θερμοκρασία και πυρωμένα ένα-ένα βγαίνουν από το καμίνι και η διαδικασία αναγωγής γίνεται σκεπάζοντάς τα με πριονίδι μέχρις να σκληρυνθεί οπότε και δεν επανοξειδώνεται το υάλωμα.

ΤΟ ΟΞΕΙΔΙΟ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΕ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Το οξείδιο σιδήρου ανάγεται εύκολα ανταποκρινόμενο άμεσα στο μονοξείδιο του άνθρακα μέσα στην ατμόσφαιρα του καμινιού σύμφωνα με την αντίδραση



διάφορα ποσοστά οξειδίου του σιδήρου σε αναγωγική ατμόσφαιρα δίνουν τα παρακάτω γνωστά υαλώματα

1%-3% ανοικτό έως σκούρο γκρι πράσινο γνωστό ως celadon

8% μαύρο
8-12% Tenmoku, tesha και kaki

Μόλις το οξειδίο σιδήρου κόκκινο ή μαύρο εγκλωβιστεί σε ένα λιωμένο υάλωμα τα οξυγόνα του ενώνονται με άλλα στοιχεία πυριτικό, αργίλιο, κάλιο, νάτριο κλπ. που είναι παρόντα και δεν έχουν διάθεση στην συνέχεια να επανασυγκροτήσουν τους αρχικούς τους δεσμούς. Η οξείδωση λοιπόν και βασικά η αναγωγή που μας ενδιαφέρει σε αυτό το κεφάλαιο έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν γίνεται κατά την περίοδο πριν και κατά την διάρκεια της σύντηξης των οξειδίων που αποτελούν το υάλωμα και όχι όταν αυτό είναι λιωμένο δηλαδή στο τέλος του κύκλου ψησίματος .

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗΣ ΕΨΗΣΗΣ

Κεφάλαιο 1: Ορολογία

Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία της διαδικασίας ψησίματος

Κεφάλαιο 3: Τεχνολογία καύσης

Κεφάλαιο 4: Υπολογισμός καύσης

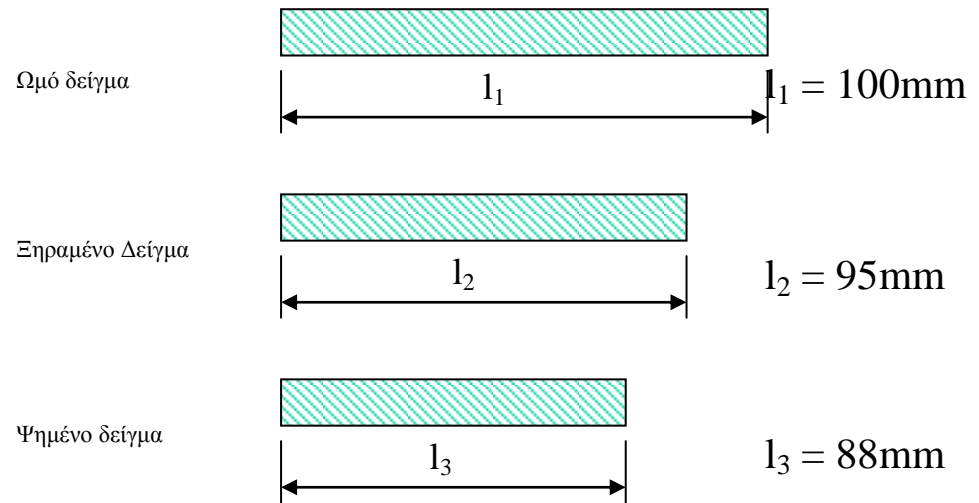
Κεφάλαιο 5: Παράμετροι

Κεφάλαιο 6: Τρόπος λειτουργίας ενός καμινιού τούνελ

Κεφάλαιο 7: Δομή καμινιού τούνελ

Κατάσταση του ακατέργαστου υλικού

Δείγμα



Κεφάλαιο 2

Περιγραφή της έψησης

Η διαδικασία της έψησης αποτελείται από τρία στάδια:

- Θέρμανση
- Συσσωμάτωση
- Κρύωμα

Για την δημιουργία της καμπύλης έψησης (= γραφική παράσταση της ανόδου και καθόδου της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο ή της διατήρησης της θερμοκρασίας σταθερής για ορισμένο χρονικό διάστημα) πρέπει να ληφθούν υπόψη τα φυσικό-μηχανικά και χημικο-ορυκτολογικά χαρακτηριστικά των υλικών που ψήνονται.

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Θέρμανση – στάδιο 1

Τα ακατέργαστα υλικά πρέπει να είναι καλά ξηραμένα πριν την έψηση, το ποσοστό υγρασίας πρέπει να είναι κάτω του 1% (διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος κρακελαρίσματος ή σπασίματος λόγω υδρατμών !)

Τα ξηραμένα υλικά διαστέλλονται κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Επειδή η θερμότητα μεταφέρεται από το εξωτερικό προς το εσωτερικό το υλικό είναι πιο ζεστό στην επιφάνεια παρά στο εσωτερικό του. Λόγω αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και εσωτερικού, μπορούν να παρουσιαστούν τάσεις στη δομή των υλικών που να προκαλέσουν ρωγμές κατά τη διάρκεια της θέρμανσης

Σε περίπτωση μεγάλου χρονικού διαστήματος μεταξύ ξήρανσης και ψησίματος απαιτείται μεγάλη προσοχή επειδή οι αργιλικές μάζες είναι υγροσκοπικές.

Παρόλο που για οικονομικούς λόγους ο στόχος είναι να θερμανθεί το υλικό το γρηγορότερο δυνατόν (λιγότερη ενέργεια λιγότερο κάυσιμο) μέχρι την θερμοκρασία συσσωμάτωσης πρέπει να προσέχουμε γιατί η θέρμανση μπορεί να γίνει όσο απότομα επιτρέπει το κεραμικό υλικό (αποφυγή ρωγμών)

Τεχνολογία της διαδικασίας έψησης: Θέρμανση - στάδιο 2

Παράμετροι που πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη στο στάδιο της θέρμανσης :

- Θερμικές διαστολές και συρρικνώσεις του υλικού
- Απότομες μεταβολές όγκου λόγω της «μεταβολής κρυσταλλικού πλέγματος»
- Εξώθερμες αντιδράσεις
- Οξείδωση των οργανικών ουσιών
- Αποϋαλοποιήσεις, που προέρχονται κυρίως από αποσύνθεση ανθρακικών ενώσεων.
 - αν τα τούβλα οροφής του καμινιού είναι υαλωμένα , θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ο χρόνος τήξης του υαλώματός των .
 - πυράντοχες ιδιότητες υλικών.

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Θέρμανση στάδιο 3

Παράδειγμα: Αλλαγές στην κρυσταλλική δομή του πυριτικού

- αντιστρεπτή μεταβολή στους 575°C από "χαλαζία –α “ and "χαλαζία-β“ – που συνοδεύεται με αλλαγή όγκου κατά 2% ("κρυσταλλική μεταβολή“)
- μετατροπή του πυριτικού σε χριστοβαλίτη σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1050°C που συνοδεύεται από αλλαγή όγκου 17% . Αυτήν η μετατροπή γίνεται αργά και επομένως δεν αποτελεί κίνδυνο.
- απότομη μετατροπή του χριστοβαλίτη Α σε χριστοβαλίτη Β στους περίπου 230°C – με αλλαγή όγκου 5.5% (πολύ επικίνδυνο κατά τη διάρκεια του κρυώματος !) –

Γενικά, κατά τη διάρκεια της θέρμανσης η αργιλλική μάζα είναι ακόμα «μαλακή» επιτρέποντας ακόμα και γρήγορη θέρμανση παρά τις πολλές χημικές αντιδράσεις.

Σημείωση: Οι αλλαγές όγκου λόγω μεταβολών κρυσταλλικού πλέγματος δεν είναι τόσο επικίνδυνες κατά τη διάρκεια της θέρμανσης όσο κατά τη διάρκεια του κρυώματος.

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Θέρμανση στάδιο 4

Τα χαρακτηριστικά της κάθε πρώτης ύλης ξεχωριστά (και αντίστοιχα των μιγμάτων των πρώτων υλών) επηρεάζουν σημαντικά την διαδικασία έψησης.

Παραδείγματα:

- αν οι αργιλικές μάζες περιλαμβάνουν πολλές πρώτες ύλες τότε η συρρίκνωση είναι υψηλή επειδή μεγάλη ποσότητα κρυσταλλικού νερού
- αν υπάρχουν πολλές οργανικές ουσίες και ανθρακικά τότε η οξειδωσή τους απαιτεί περισσότερο χρόνο

(σε γρήγορη έψηση, μπορεί να προκύψει το φαινόμενο της μαύρης καρδιάς)

Εκτός από τα παραπάνω, υπάρχουν και άλλες επιρροές που οφείλονται :

- στο σχήμα του κεραμικού υλικού που ψήνεται (π.χ. συμπαγή τούβλα, άλλες φόρμες)
- στην πυκνότητα πλήρωσης καμινιού (μεγαλύτερο στίβαγμα = πιο δύσκολη η μετάβαση θερμότητας
- στην κατανομή θερμοκρασίας στο θάλαμο του καμινιού (μικρότερη ομοιογένεια , περισσότερα προβλήματα)
- στην πιθανότητα οξειδωτικής έψησης όπου η παρουσία οξυγόνου είναι απαραίτητη
- στην θερμοκρασία αερίων που εκλύονται από το υάλωμα (εάν το υλικό υαλωποιηθεί)

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Κύρια Έψηση

Η ολική έψηση στην μέγιστη θερμοκρασία είναι το στάδιο της εντατικοποιημένης συσσωμάτωσης και συμπίεσης της μάζας έως να καταλήξουμε στο χαμηλότερο επιθυμητό πορώδες.

Ο καλή απόδοση λειτουργίας των καυστήρων υψηλής ταχύτητας και η έντονη ακτινοβολία συνήθως δημιουργούν μια καλή ομοιογένεια στο θάλαμο του καμινιού.

Ο βαθμός συσσωμάτωσης, π.χ. το πορώδες και η απορροφητικότητα, δεν επηρεάζονται μόνο από την μέγιστη θερμοκρασία, αλλά και από τον ρυθμό αύξησης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της έψησης.

Κατά την διάρκεια της κύριας έψησης, μπορεί να προκύψουν σημειακές τοπικές υαλοποιήσεις στην δομή των μαζών και να δημιουργηθούν νέοι κρύσταλλοι. Αυτό θα

δημιουργήσει προβλήματα στο επικαληπτικό υάλωμα αφού κατά την διάρκεια της θερμοκρασίας έψησης του δεν θα είναι ελεύθεροι όλοι οι πόροι της επιφάνειας τους μπισκότου.

Σε περίπτωση πολύ υψηλής θερμοκρασίας (υπερ-έψηση), μπορούν να παρουσιαστούν τα παρακάτω ελαττώματα:

- παραμόρφωση του ψημένου αντικειμένου
- κόλλημα στις πυρόπλακες
- φούσκωμα

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Κρύωμα - Στάδιο 1

Στην μέγιστη θερμοκρασία, στο εσωτερικό του σώματος που ψήνεται, η μάζα είναι με την μορφή ιξώδους μείγματος Όσο αυτήν η μάζα βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση, δεν δημιουργούνται τάσεις στο εσωτερικό του αντικειμένου, παρά τις διαφορές θερμοκρασίας (χαμηλότερη θερμοκρασία στην επιφάνεια παρά στο εσωτερικό του αντικειμένου).

Επομένως, το γρήγορο κρύωμα (απότομο κρύωμα), με διάχυση μεγάλων ποσοτήτων κρύου αέρα, είναι επιτρεπτό μόνο μέχρι ενός σημείου που ξεκινά η λεγόμενη γκάμα μετατροπών της λιωμένης μάζας (μεταβολή από ιξώδη κατάσταση σε εύθραυστο - ελαστική κατάσταση). Αυτό το γρήγορο κρύωμα μπορεί να συνεχιστεί έως του 650 °C.

Κατά τη διάρκεια του κρυώματος, μπορεί να προκύψει περαιτέρω κρυσταλλοποίηση των ορυκτών.

Από το σημείο που η μάζα έχει φτάσει σε εύθραυστη –ελαστική κατάσταση και μετά, το κρύωμα πρέπει να συνεχιστεί πολύ αργά. Αυτό συμβαίνει επειδή στους 575°C λαμβάνει χώρα η αντιστρεπτή μεταβολή του πυριτικού με σημαντική διαστολή όγκου.

Περιγραφή της διαδικασίας έψησης: Κρύωμα - Στάδιο 2

Επειδή η μάζα είναι πιο κρύα στην επιφάνεια παρά στο εσωτερικό του αντικειμένου, οι μετατροπές κατά το κρύωμα γίνονται πρώτα στην επιφάνεια. Αυτόπου σημαίνει ότι η επιφάνεια συστέλλεται και επομένως δημιουργούνται επιφανειακές τάσεις.

Σημείωση:**Τα κεραμικά είναι πολύ ευαίσθητα στις επιφανειακές τάσεις**

Επομένως, το κρύωμα πρέπει πάντα να γίνεται πολύ αργά σε θερμοκρασίες μεταξύ 600°C και 500°C ειδικά όταν υπάρχει πολύ πυριτικό στην μάζα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας που θέλουμε να έχουμε κατά το κρύωμα τόσο μεγαλύτερο χρόνο χρειαζόμαστε.

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή έψησης : Καύση

Κατά τη διάρκεια της καύσης (οξειδωσης) , αντιδρούν τα παρακάτω:

- καύσιμο (εδώ το καύσιμο είναι φυσικό αέριο = μεθάνιο) και
- οξυγόνο (21% του ατμοσφαιρικού αέρα)

Δημιουργούνται τα παρακάτω:

- καυσαέριο (στην πιο απλή περίπτωση ένα μίγμα από διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμών)

και

- θερμότητα (= Υψηλή θερμοκρασία του καυσαερίου)

Η αντίδραση λαμβάνει χώρα όταν:

- υπάρχει μια συγκεκριμένη αναλογία του μείγματος καύσιμο - οξυγόνο
- παρέχεται μια συγκεκριμένη κατώτατη θερμοκρασία (θερμοκρασία ανάφλεξης)

(650°C για το φυσικό αέριο)

Περιγραφή έψησης : Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από μεθάνιο (97-98%)

Το μεθάνιο είναι ένα μίγμα από άνθρακα και υδρογόνο = χημικός τύπος CH₄

Χαρακτηριστικά

Πυκνότητα:	0.72kg/m ³
Θερμαντική ικανότητα	ca. 10kWh/m ³
Θερμογόνος δύναμη :	ca. 11kWh/m ³

Η θερμαντική ικανότητα υπολογίζεται σαν την ενέργεια που χρειάζεται το νερό που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της καύσης για να διαφύγει με την μορφή υδρατμών.

Η θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται σαν την ενέργεια συμπύκνωσης των ατμών όταν το καυσαέριο υποβάλλεται σε πολύ γρήγορο κρύωμα και οι υδρατμοί

συμπυκνώνονται . Κατά την διαδικασία αυτή απελευθερώνεται μια μεγάλη ποσότητα θερμότητας (περίπου 560kcal/kg νερού)

Περιγραφή έψησης : Απαιτούμενες προδιαγραφές οξυγόνου και ατμοσφαιρικού αέρα

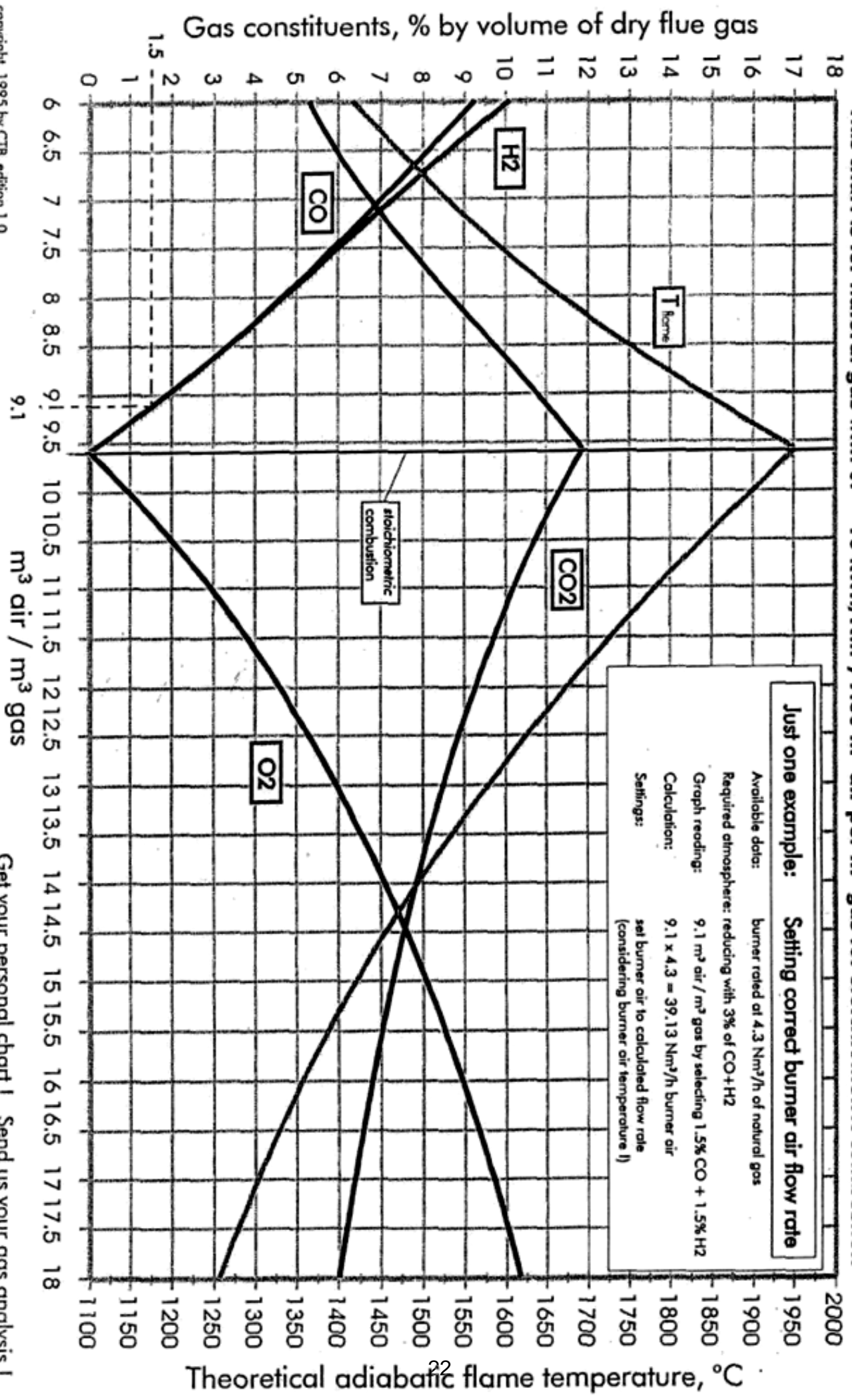
Για την καύση 1m^3 φυσικού αερίου (μεθάνιο) απαιτούνται επακριβώς 2m^3 οξυγόνο . Επειδή ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει μόνο 21% οξυγόνο (και 79% άζωτο), καταλήγουμε σε μια θεωρητική κατανάλωση ατμοσφαιρικού αέρα L_{\min} (100% αέρα: 21% οξυγόνο) = $4.76 \times 2\text{m}^3 = 9.5\text{m}^3$ αέρα.

Η πραγματική ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα L είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από 9.5 επειδή το φυσικό αέριο περιέχει και άλλα συνοδευτικά αέρια όπως αιθάνιο, βουτάνιο και προπάνιο, που απαιτούν περισσότερο οξυγόνο για την καύση.

(Εξάλλου, ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει και λιγοστους υδρατμούς, οι οποίοι δε λήφθηκαν υπόψη στον παραπάνω υπολογισμό)

Σημείωση : Για την ολική καύση 1m^3 φυσικού αερίου , απαιτούνται περίπου 10m^3 ατμοσφαιρικού αέρα.

This chart is for natural gas with $c_v = 10 \text{ kWh/Nm}^3$, $9.60 \text{ m}^3 \text{ air per m}^3 \text{ gas for stoichiometric combustion}$



Κεφάλαιο 4

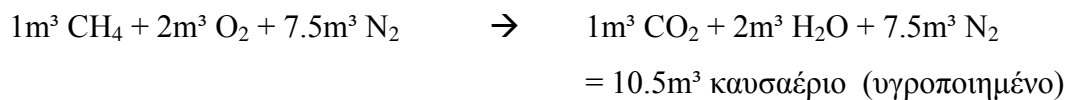
Υπολογισμός καύσης

Η καύση μπορεί να είναι:

- **ουδέτερη:** η ποσότητα αέρα στο μείγμα φυσικό αέριο – ατμοσφαιρικό αέρα αντιστοιχεί ακριβώς στο L_{\min} ($\lambda=1.0$)
- **οξειδωτική :** η ποσότητα αέρα στο μείγμα φυσικό αέριο – ατμοσφαιρικό αέρα είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση αέρα L_{\min} ,
περίσσειμα αέρος ($\lambda > 1.0$)
- **αναγωγική :** η ποσότητα αέρα στο μείγμα φυσικό αέριο – ατμοσφαιρικό αέρα είναι μικρότερη από την κατανάλωση αέρα L_{\min} ,
ανεπάρκεια αέρος ($\lambda < 1.0$)

Σημείωση : Το λ αντιπροσωπεύει τον λόγο : L / L_{\min} Περιγραφή καύσης:

Ουδέτερη καύση του φυσικού αερίου, $\lambda=1.0$



Όμως οι υδρατμοί νερού (H_2O) εξατμίζονται και έτσι η ποσοστιαία ανάλυση των ουσιών αναφέρεται μόνο στο «στεγνό» καυσαέριο!

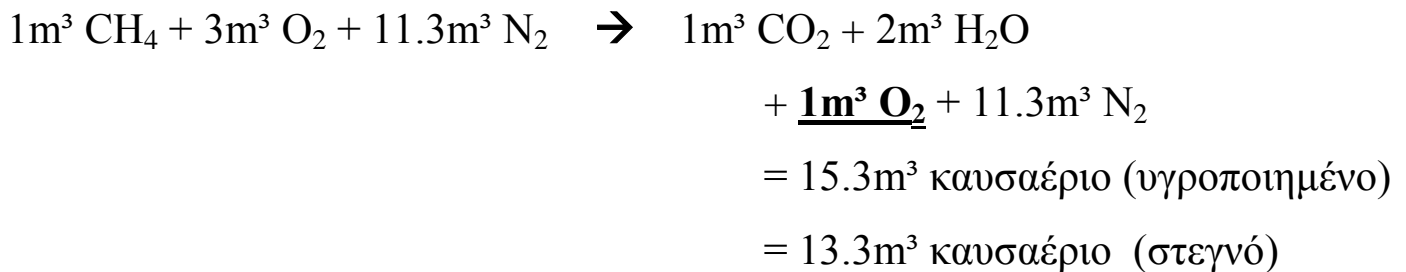
Άρα: $10.5\text{m}^3 - 2\text{m}^3 = 8.5\text{m}^3$ (ποσότητα «στεγνού» καυσαερίου)

Μόνο με ουδέτερη καύση αερίου καταφέρνουμε να αγγίξουμε την μέγιστη περιεκτικότητα CO_2 στο καυσαέριο:

$\text{CO}_{2/\max} = 1\text{m}^3 \text{CO}_2 : 8.5 \text{m}^3 \text{ καυσαερίου} = 11.7\%$

Περιγραφή καύσης: Οξειδωτική καύση φυσικού αερίου , $\lambda > 1.0$

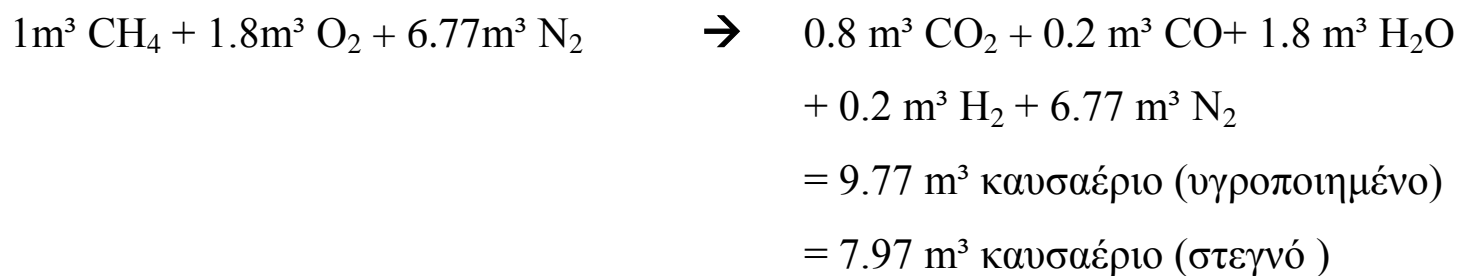
Παράδειγμα : $\lambda = 1.5$



$$\text{CO}_2 = 1\text{m}^3 \text{CO}_2 : 13.3\text{m}^3 \text{καυσαερίου} = 7.5\%$$

Περιγραφή καύσης: Αναγωγική καύση φυσικού αερίου , $\lambda > 1.0$

Παράδειγμα: $\lambda = 0.9$



$\text{CO}_2 = 0.8\text{m}^3 \text{CO}_2 : 7.97\text{m}^3 \text{καυσαερίου} = 10.0\%$

$\text{CO} = 0.2\text{m}^3 \text{CO} : 7.97\text{m}^3 \text{καυσαερίου} = 2.5\%$
--

$\text{H}_2 = 0.2\text{m}^3 \text{H}_2 : 7.97\text{m}^3 \text{καυσαερίου} = 2.5\%$
--

Επομένως, σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται μια μείωση της παραγόμενης ποσότητας CO₂ κατά 5% που οφείλεται στην παραγωγή CO και H₂.

Για τις ποσότητες CO και H₂, ισχύει το παρακάτω:

$$\text{CO} \approx \text{H}_2 \approx (1 - \lambda) \times 25$$

Το 3% του CO, μετατρέπεται σε κάρβουνο (καπνιά).

Αναγωγική έψηση στο καμίνι μπορεί να επιτευχθεί με την διαδικασία ελεγχόμενου κλεισίματος του διαφράγματος εισόδου αέρα με αύξηση της παροχής γκαζιού ή και με ελεγχόμενο κλείσιμο του διαφράγματος απαγωγής καυσαερίων.

Κεφάλαιο 5

Παράμετροι

Σημαντικές παράμετροι της διαδικασίας έγνησης :

- πίεση αερίου στον θάλαμο καμινιού
- θερμοκρασίες
- Ποσότητα φυσικού αερίου
- Ποσότητα αερίου καύσης
- σύσταση του αερίου καύσης (flue gas, καυσαέριο)
- όγκος εισαγόμενου αέρα

Παράμετροι : Πίεση θαλάμου καμινιού 1

Πίνακας μετατροπής μονάδων μέτρησης της πίεσης

	Pa	mbar	mm WS
1 Pa	1	0,01	0,102
1 mbar	100	1	10,2
1 mm WS	9,81	0,098	1

Παράμετροι : Πίεση θαλάμου καμινιού 2

Γενικότητες :

- Η πίεση αερίου που ασκείται πάνω σε μια επιφάνεια εξαρτάται από το ύψος και την πυκνότητα της "κολόνας αερίου" πάνω από την επιφάνεια αυτή (όταν έχουμε ατμοσφαιρικό αέρα τότε για κάθε μέτρο της «κολόνας» έχουμε περίπου πίεση 12 Pa ή 1.2mm WS).
- Όταν θερμαίνονται, τα αέρια διαστέλλονται ομοιόμορφα κατά 1/273 του όγκου τους, και αναλόγως μειώνεται η πυκνότητά τους.

Πίνακας : Πυκνότητα του αερίου

- Ένα αέριο με πυκνότητα μικρότερη από αυτήν των άλλων αερίων του περιβάλλοντος χώρου ανεβαίνει πάνω από αυτά. (για παράδειγμα, τα αερόστατα που λειτουργούν με καυτό αέρα).
- Τα αέρια πάντα μετακινούνται από περιοχή με υψηλότερη πίεση προς την περιοχή με χαμηλότερη πίεση ακολουθώντας το λεγόμενο "μονοπάτι της χαμηλότερης αντίστασης".

Θερμοκρασία σε °C	Θερμοκρασία σε K	Πυκνότητα σε kg/m ³
20	293	1.29
	473	0.80
500	773	0.49
1000	1273	0.30

Παράμετροι : Πίεση θαλάμου καμινιού 3

Για τα καμίνια τούνελ:

- Γενικά, ένα καμίνι τούνελ δεν είναι σφραγισμένο αεροστεγώς! Επομένως, σε περίπτωση υπερπίεσης, θα ξεφύγει καυτό αέριο από τα σημεία που δεν είναι αεροστεγή. Σε περίπτωση χαμηλής πίεσης, ο εξωτερικός αέρας θα εισρεύσει ανεξέλεγκτα από τα σημεία διαρροής (διείσδυση αέρος).

- Είναι εξαιρετικά σημαντικό το καμίνι να έχει πολύ καλή μόνωση («να σφραγιστεί» πολύ καλά), διαφορετικά έχουμε μεγάλες απώλειες ενέργειας (αύξηση κόστους!) και απότομο κρύωμα του κεραμικού προϊόντος, κυρίως λόγω διείσδυσης κρύου αέρα.
- Η τάση ανεξέλεγκτης εισροής εξωτερικού αέρα παρατηρείται κυρίως στην ζώνη προθέρμανσης!
- Τα καυτά αέρια (που κινούνται κατά μήκος του καμινιού) τείνουν να κινηθούν προς την οροφή του τούνελ, επομένως πρέπει να δημιουργήσουμε τέτοιες συνθήκες ώστε να μετακινηθούν και προς το κάτω υπόλοιπο μέρος του καμινιού ("ανακύκλωση αέρος").
- Ανάλογα με την πληρότητα (το «στήβαγμα» του καμινιού, π.χ. συμπαγή τούβλα σε αντίθεση με άλλες φόρμες) έχουμε διακυμάνσεις πίεσης κατά μήκος του καμινιού.

Παράμετροι : Θερμοκρασία 1

Η θερμοκρασία είναι η πιο σημαντική παράμετρος στην κεραμική και επηρεάζει στις φάσεις παραγωγής και τα φυσικά χαρακτηριστικά των προϊόντων (συσσωμάτωση, συρρίκνωση, συμπίεση, πορώδες, χρώμα, παραμορφώσεις, φούσκωμα)

Προσοχή :

Το αποτέλεσμα της έψησης δεν εξαρτάται μόνο από την μέγιστη θερμοκρασία, αλλά και από την συνάρτηση της θερμοκρασίας με το χρόνο (αν έχουμε δηλαδή γρήγορη ή αργή θέρμανση)

Επομένως, η μέτρηση της θερμοκρασίας με πυρομετρικούς κώνους (κώνους Seger) είναι απαραίτητη .

Η θερμοκρασία ενός σώματος μεταβάλλεται με την προσθαφαίρεση ή αφαίρεση θερμικής ενέργειας (μεταφορά θερμότητας)

Αυτήν η μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα στο καμίνι με την μορφή:

> Θέρμανσης : Η θερμική ενέργεια των αερίων καύσης μεταφέρεται στο ψημένο υλικό

> Κρυώματος : Η θερμική ενέργεια του ψημένου υλικού μεταφέρεται στον κρύο αέρα

Παράμετροι : Θερμοκρασία 2

Η μετάδοση θερμικής ενέργειας γίνεται κυρίως :

...με την βοήθεια εκλυόμενου αέριου (αγωγή) – σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι τους περίπου 400°C)

...με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ακτινοβολία) – σε υψηλές θερμοκρασίες (σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στους 1000°C) (βλέπε διάγραμμα)

Η επίτευξη μιας σταθερής θερμοκρασίας στο θάλαμο του καμινιού είναι πιο δύσκολη με την μετάδοση θερμότητας δια αγωγής παρά με την μετάδοση δια ακτινοβολίας (οι διαφορές θερμοκρασίας στην ζώνη της προθέρμανσης μπορούν να φτάσουν και τους 200 βαθμούς).

Επομένως, ο ρυθμός έκλυσης των αερίων και οι διακυμάνσεις πίεσης των αερίων στο καμίνι είναι κρίσιμοι παράγοντες για τη μεταφορά θερμότητας (και ως εκ τούτου για τις αλλαγές θερμοκρασίας του ψημένου υλικού)

Η θερμότητα μεταδίδεται από την επιφάνεια του ψημένου υλικού προς το εσωτερικό του (θέρμανση) ή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια (κρύωμα) = «μετάδοση θερμότητας».

(Σημείωμα : τα κεραμικά είναι κακοί αγωγοί θερμότητας – όσο πιο συμπαγή είναι μια κεραμική μάζα, τόσο πιο αργά πρέπει να γίνεται η θέρμανση και το κρύωμα, ειδάλλως οι διαφορές θερμοκρασίας της επιφάνειας από το εσωτερικό τους θα ήταν πολύ μεγάλες. Με κίνδυνο ρωγμών.

Παράμετροι : Θερμοκρασία 3

Μετρήσεις θερμοκρασίας

- Στα κεραμικά καμίνια χρησιμοποιούνται τα θερμοστοιχεία (TE ή TC).
- Αποτελούνται από δύο καλώδια (σύρματα) διαφορετικών υλικών (κράμα νικελίου και χρωμονικελίου ή κράμα πλατίνας και ροδιοπλατίνας), τα οποία συγκολλούνται σε ένα σημείο (= σημείο μέτρησης).
- Η όποια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ σημείου συγκόλλησης και των άκρων δημιουργεί μια τάση (θερμικό στρέψ), η οποία μπορεί να μετρηθεί στα ελεύθερα άκρα των καλωδίων

- Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. στο στεγνωτήριο και στους αγωγούς καυτού αερίου) μετριοούνται με θερμόμετρα αντίστασης.

Πιθανά λάθη και αποφυγή λαθών για τους θερμομετρητές TE

- Όταν παλαιώνουν τα θερμοστοιχεία μπορεί οι μετρήσεις να είναι λανθασμένες(συνήθως δίνουν χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας).
- Οι θερμομετρητές TE πρέπει να επιθεωρούνται (με μια συσκευή βαθμονόμησης) ή και να αντικαθιστούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Τα θερμοστοιχεία δεν πρέπει να τοποθετούνται σε επαφή με τα τοιχώματα των καμινιών αλλά ούτε πολύ μακριά από αυτά. Θα πρέπει να επεκτείνονται μέσα στο καμίνι τουλάχιστον κατά 2cm. Αν χρησιμοποιούνται με προστατευτικό σωλήνα, πρέπει στις άκρες να προεξέχουν από αυτόν.
- Εάν πρέπει να επεκτείνουμε τις ελεύθερες άκρες θερμοστοιχείων TE, πρέπει να χρησιμοποιούμε μόνο «ειδικά καλώδια».

Παράμετροι : Θερμοκρασία 4

Ρύθμιση

- Η τιμή της θερμοκρασίας μετριέται με ένα όργανο ελέγχου. Εάν αυτή η τιμή διαφέρει από την προκαθορισμένη , τότε μεταδίδεται ένα σινιάλο σε μια ρυθμιστική μονάδα ώστε να αποκατασταθεί η προκαθορισμένη τιμή θερμοκρασίας. Στα καμίνια ρυθμιστική μονάδα είναι κυρίως ο τροφοδότης καυσίμων.
- Αν συγχρόνως ρυθμίζεται και η ατμόσφαιρα του καμινιού (ρύθμιση του (λ ή Co)τότε ρυθμιστική μονάδα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας μπορεί να είναι επίσης ο αέρας καύσης.
- **Σημείωση:**

Ο χρόνος αποκατάστασης της θερμοκρασίας με ρυθμιστή την τροφοδοσία καυσίμου είναι μεγάλος.

Ένα καμίνι αντιδρά συνήθως αργά στις ρυθμίσεις καυσίμων, και ιδιαίτερα στην περίπτωση αύξησης καυσίμων(περνούν αρκετά λεπτά έως ότου μια ρύθμιση οδηγήσει σε μια αλλαγή θερμοκρασίας).

- Επομένως, οι παράμετροι ρύθμισης πρέπει να προσαρμοστούν – ο χειριστής πρέπει ουσιαστικά να είναι υπομονετικός και σε περίπτωση

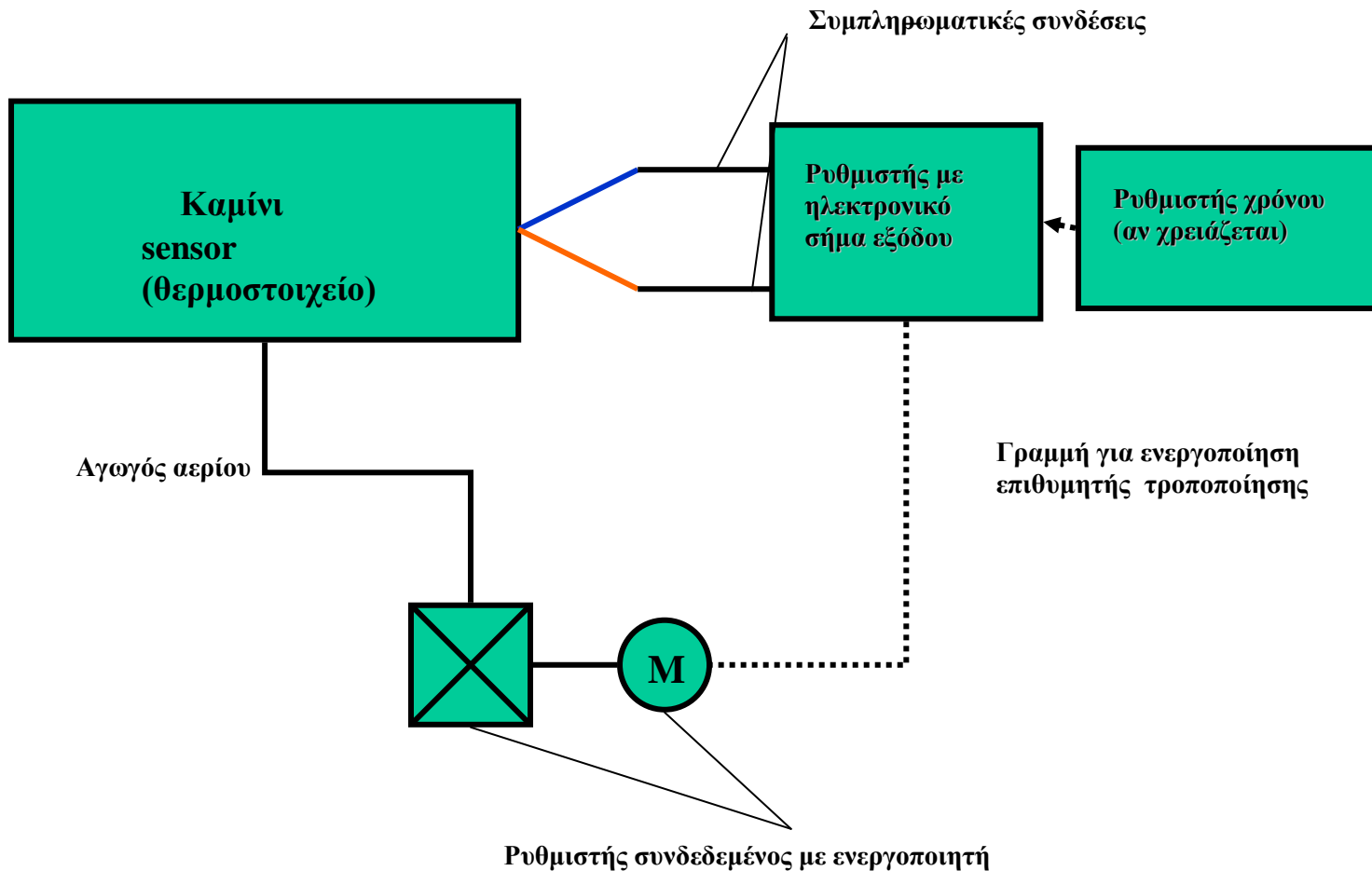
αποκλίσεων από την καθορισμένη θερμοκρασία δεν θα πρέπει να κλείσει ή να ανοίξει αμέσως τη βαλβίδα αερίου.

- Ο χρόνος αντίδρασης (απάντησης) του καμινιού στις εντολές του χειριστή εξαρτάται π.χ. από:
 - τιμή θερμοκρασίας (όσο μεγαλύτερη, τόσο πιο αργή η αντίδραση)
 - πλήρωση καμινιού (όσο πιο πολύ στοιβαγμένα είναι τα κεραμικά στο καμίνι τόσο πιο αργή η αντίδραση)
 - σύσταση καυσαερίων

○

Παράμετροι : Θερμοκρασία 5

Κύκλος ελέγχου θερμοκρασίας σε καμίνια αερίου



Παράμετροι : Θερμοκρασία 6

Ρυθμός έψησης: Όσο πιο γρήγορα γίνεται η έψηση, τόσο πιο δύσκολα είναι να πετύχουμε έντονα κόκκινα χρώματα!

Αιτία :

Ο χρωματισμός που επιτυγχάνει το ορυκτό αιματίτης και είναι τα αποτελέσματα διάλυσης των ιόντων Fe στην ιξώδη ρευστή κεραμική μάζα απαιτεί πολύ χρόνο.

Τονίζουμε επίσης ότι όσο περισσότερο λεπτόκκοκα είναι τα σωματίδια που περιέχουν Fe τόσο καλύτερα αναμιγνύονται στην ιξώδη μάζα.

Άρα για καλύτερο κόκκινο χρωματισμό προτείνεται ξηρή άλεση της μάζας σε συνδυασμό με αργή έψηση.

Παράμετροι : Θερμοκρασία 7

Τάσεις κατά τη διάρκεια της έψησης Η δημιουργία τάσεως κατά την διάρκεια ψησίματος των κεραμικών προϊόντων είναι αναπόφευκτη . Αυτές οι τάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν ορισμένα όρια , κυρίως τα όρια αντοχής των υλικών από τα οποία αποτελούνται.

Στο τέλος της έψησης, το τελικό προϊόν θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από τέτοιου είδους τάσεις , αν και υπάρχουν και εξαιρέσεις όπως πχ στην υαλωμένη επιφάνεια της ηλεκτρικής πορσελάνης όπου η επιφανειακή τάση είναι αυξημένη κατά 30%

Προκύπτουν οι παρακάτω εντάσεις :

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης:

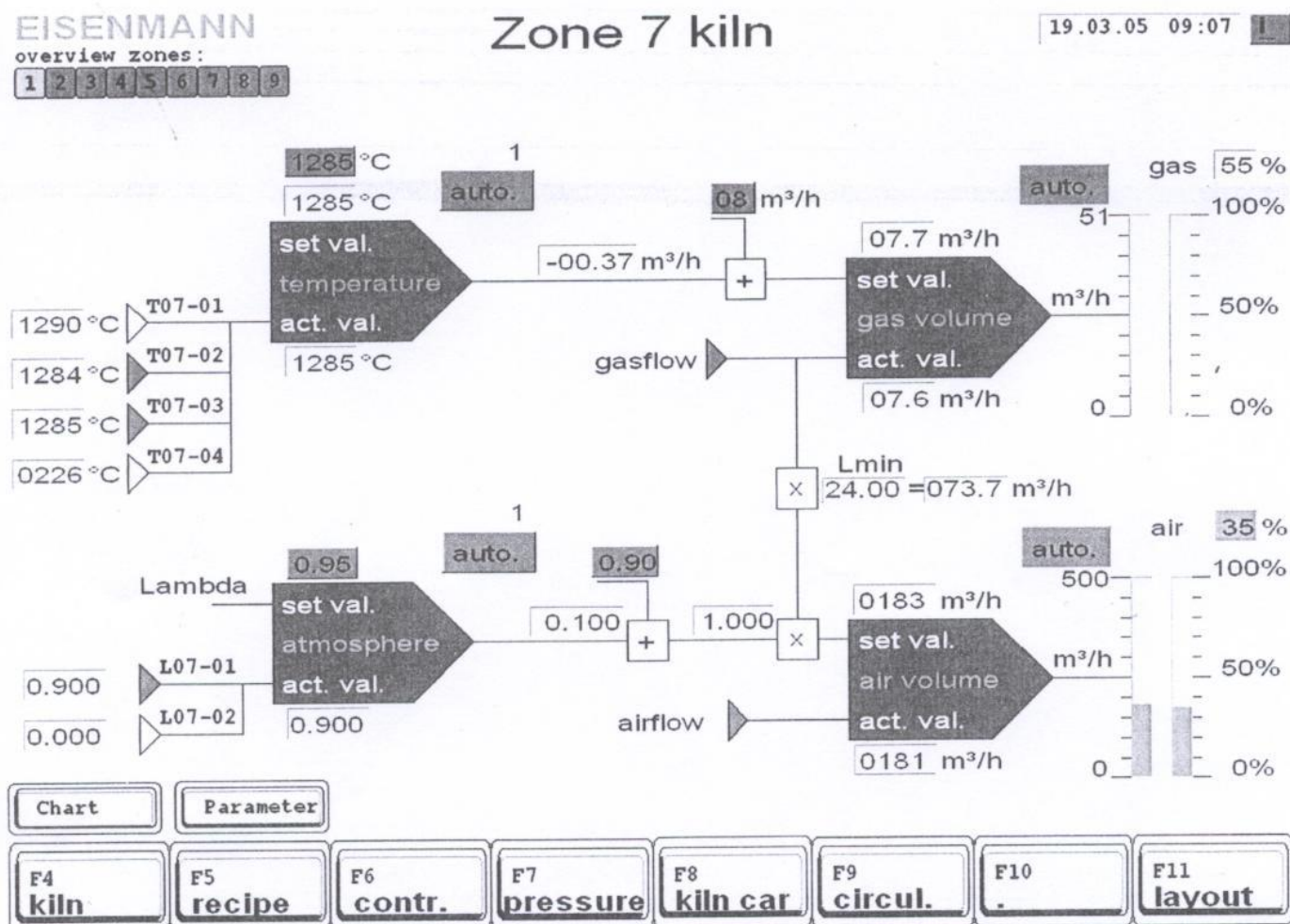
- θερμικές τάσεις λόγω διαφορών θερμοκρασίας
- τάσεις πίεσης λόγω απελευθέρωσης αερίων
- επιφανειακές τάσεις

Κατά την διάρκεια του κρυώματος:

- αντιστρεπτές τάσεις κρυώματος
- μη αντιστρεπτές τάσεις κρυώματος
- τάσεις που προκύπτουν από την δομή του υλικού
- επιφανειακές τάσεις

Παράμετροι : Θερμοκρασία 8

Διάγραμμα ελέγχου της ζώνης ψησίματος για αναγωγικό ψήσιμο



Κεφάλαιο 6

Τρόπος λειτουργίας ενός καμινιού τούνελ 1

Ένα σύγχρονο μοντέρνο καμίνι τούνελ είναι στην πραγματικότητα μια "μηχανή έψησης" εφοδιασμένη με σύγχρονες, προηγμένες συσκευές μέτρησης και ελέγχου .

Όμως επειδή οι φυσικοί μηχανισμοί και κανόνες είναι βασικοί για όλους τους τύπους των καμινιών.

Ισχύει πάντα η βασική αρχή : "σταθερό ψήσιμο “ and "κινούμενο ψημένο υλικό"

Αποδοτική λειτουργία και προϊόντα υψηλής ποιότητας απαιτούν πάνω απ' όλα σταθερότητα των συνθηκών έψησης και άρα παρακολούθηση των παρακάτω παραμέτρων:

- ταχύτητα τροφοδότησης
- τιμές και καμπύλη πίεσης θαλάμου
- καμπύλη θερμοκρασίας
- σύσταση μείγματος φυσικού αερίου – ατμ. αέρα
- ατμόσφαιρα (σύνθεση των καυσαερίων)
- πυκνότητα πλήρωσης καμινιού

Τρόπος λειτουργίας ενός καμινιού τούνελ 2

Ένα καμίνι τούνελ είναι ένα σύνθετο σύστημα!

Όλοι οι παράμετροι αλληλοεξαρτώνται και επομένως η μετατροπή ή ρύθμιση της μίας παραμέτρου επηρεάζει όλες τις άλλες

Παράδειγμα: Μετατροπή της πυκνότητας πλήρωσης προκαλεί :

- Αλλαγή της πίεσης στην περιοχή δαπέδου
- Αλλαγή της καμπύλης θερμοκρασίας
- Αλλαγή της σταθερότητας θερμοκρασίας σε όλο τον θάλαμο του καμινιού
- Αλλαγή της ατμόσφαιρας του καμινιού

Επομένως: αλλαγές στα προϊόντα έψησης !

Η σύγχρονη τεχνολογία μέτρησης και ελέγχου των καμινιών τούνελ παρέχει την δυνατότητα τέλει προσαρμογής στις απαιτούμενες συνθήκες έψησης του προϊόντος και δεν είναι απλά μια «διόρθωση παραλλαγών» όπως συνέβαινε με τις παλαιές τεχνολογίες.

Τρόπος λειτουργίας ενός καμινιού τούνελ 3

Στα εργοστάσια που λειτουργούν καμίνια τουνελ, η τεχνολογική διαδικασία και η οργάνωση της δουλειάς πρέπει να προσαρμόζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα λειτουργίας του καμινιού

Προσοχή : Σε περίπτωση συναγερμού ή ενδείξεων που δεν είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα για την εντόπιση του λάθους και την εξάλειψή του το γρηγορότερο δυνατόν !

Ορισμένα μέρη του καμινιού, στα οποία δεν είναι δυνατή η εκπομπή σινιάλων κινδύνου, πρέπει να επιθεωρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα :

- καλή λειτουργία όλων των εξαρτημάτων
- περιοδική λίπανση μηχανών σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα λίπανσης

Κεφάλαιο 7

Δομή του καμινιού τούνελ: Ζώνη προθέρμανσης 1

Ένα καμίνι τούνελ αποτελείται από τρία τμήματα ή ζώνες

- ζώνη (τμήμα) προθέρμανσης (PZ)
- ζώνη ολικής έψησης (FZ) (ή ζώνη συσσωμάτωσης)
- ζώνη κρυώματος (CZ)

προσοχή :

Στην ζώνη προθέρμανσης η θέρμανση του υλικού πρέπει να γίνεται με τον σταθερότερο δυνατόν ρυθμό, αυτό απαιτεί την άριστη κυκλοφορία σε ολόκληρο τον θάλαμο αερίων.

Στην ζώνη προθέρμανση PZ υπάρχει πάντα χαμηλή πίεση (εκτόνωση αερίων καύσης)

Πιθανές επιπτώσεις:

- Κίνδυνος διήθησης αέρος μέσω ρωγμών οροφής
- Απώλεια ενέργειας ως αποτέλεσμα της πτώσης θερμοκρασίας
- Εξάντληση ικανότητας του εξαεριστήρα καυσαερίων (αύξηση όγκου καυσαερίων)

Λύσεις:

- προσοχή στην μόνωση της οροφής
- μείωση της πυκνότητας πλήρωσης του καμινιού

Δομή του καμινιού τούνελ : Ζώνη προθέρμανσης 2

Το καυτό αέριο των καυστήρων έχει την τάση να μετακινείται προς το πάνω μέρος του καμινιού (το καυτό καυσαέριο είναι πιο ελαφρύ από τον κρύο αέρα)

Πιθανές επιπτώσεις: πολύ μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ δαπέδου και οροφής (μέχρι 200K)

- Σπασίματα στην φάση προθέρμανσης λόγω απότομης προθέρμανσης
- Ατελής έψηση αντικειμένων στο κάτω μέρος του καμινιού
(η συσσωμάτωση είναι μια αντίδραση συνάρτησης θερμοκρασίας -χρόνου!)

Λύσεις : - ρύθμιση κυκλοφορίας της μάζας καυσαερίων

Δομή του καμινιού τούνελ: Ζώνη ολικής έψησης

Είναι απαραίτητη η χρήση διαφορετικών ομάδων καυστήρων ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε το σύστημα.

- ευκολία στον έλεγχο του μίγματος αέρα – καυσίμων (είτε με μέτρηση του αέρα είτε με την μέτρηση σύστασης των καυσαερίων)
- οι σύγχρονοι καυστήρες είναι κυρίως καυστήρες υψηλής ταχύτητας
- η τοποθέτηση των καυστήρων να γίνεται στα πλάγια και στην οροφή του καμινιού
- η πίεση αερίων στο δάπεδο να μην διαφέρει πολύ από την βαρομετρική πίεση (σε περίπτωση υπερπίεσης έχουμε και υπερθέρμανση)

Σημαντικό : - Αποφυγή μετακίνησης καυσαερίων στην περιοχή κρυώματος!

Δομή του καμινιού τούνελ: Ζώνη κρυώματος

- απότομο κρύωμα με εισαγωγή κρύου αέρα στη ζώνη του καμινιού με θερμοκρασίες 650-600°C
- εξαγωγή του κρύου αέρα κατά προτίμηση στην ίδια περιοχή του απότομου κρυώματος
- αποφυγή εισροής κρύου αέρα στην ζώνη ψησίματος
- αργό κρύωμα μεταξύ 600 και περίπου 500°C (αντιστροφή κρυσταλλικής δομής του πυριτικού)
- αργό κρύωμα μέχρι τους 500°C –από αυτό το σημείο και ύστερα το κρύωμα μπορεί να γίνει με μεγαλύτερο ρυθμό
- το κρύωμα μπορεί να επιτευχθεί και με έμμεσο τρόπο (εναλλάκτης ανακύκλωσης αέρα καύσης στο ξηραντήριο)
- εισαγωγή αέρα στην άκρη της ζώνης κρυώματος ώστε να σταθεροποιείται η πίεση δαπέδου στις ζώνες κρυώματος και έψησης)

