

2017

Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

Λουκής
Κωνσταντίνος
Α.Μ. 39242

Πτυχιακή εργασία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΛΙΒΑΝΟΥ ΤΗΞΕΩΣ ΕΥΤΗΚΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ



Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Ψυλλάκη Πανδώρα

Αιγάλεω , Μάρτιος 2017

Ευχαριστίες

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται ένας σημαντικός κύκλος της ζωής μου. Ευελπιστώ πως αυτά που μου πρόσφερε το εκπαιδευτικό μου Ίδρυμα και ό,τι εγώ κατάφερα να αφομοιώσω, θα αποτελέσουν σημαντικά εφόδια για τη σταδιοδρομία μου ως Μηχανολόγος Μηχανικός Τ.Ε. Δεν ξέρω αν τελικά κατάφερα να εκπληρώσω τους στόχους που έθεσα ξεκινώντας, σίγουρα όμως η εκπόνηση μιας πτυχιακής εργασίας, -που είναι στ' αλήθεια κοπιαστική,- αποτελεί την κορύφωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Σε μένα τελικά, η γεύση που έμεινε από την ενασχόληση με το αντικείμενο του σχεδιασμού και κατασκευής ενός κλιβάνου τήξης ήταν συναρπαστικά ευχάριστη. Εξαρχής, στόχος μου ήταν το αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής να είναι το βέλτιστο δυνατό, ένας στόχος που πιστεύω ότι, δεδομένων των συνθηκών, εκπλήρωσα, με κύρια εφόδια μου την υπομονή, την επιμονή, την προσήλωση στο στόχο και την συμπαράσταση των οικείων μου.

Θέλω λοιπόν αρχικά να ευχαριστήσω το Γιώργο Χαλάση, ο οποίος με βοήθησε στη κατασκευή του καμινιού που παρουσιάζεται στην εργασία, τον Γιάννη Κοντό, ο οποίος επιμελήθηκε του video για την παρουσίαση της εργασίας, τον Κηρύκο Κορακή, ο οποίος ήταν βοηθός μου κατά τη παρουσίαση της λειτουργίας του καμινιού και τους συμφοιτητές μου, Κώστα Βελισσαρίδη, Πέτρο Δριμαρόπουλο και Μιχάλη Φώτσαλη, για τα συναρπαστικά φοιτητικά μας χρόνια και για τις δυσκολίες αλλά και τις χαρές που μοιραστήκαμε. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τη φίλη μου Παναγιώτα Καλογήρου η οποία πραγματικά μου στάθηκε τον τελευταίο καιρό και μου έδωσε δύναμη για να συνεχίσω. Τέλος θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην αγαπημένη μου καθηγήτρια κα Πανδώρα Ψυλλάκη για τις συμβουλές κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας και την υπομονή και επιμονή καθώς και την εμπιστοσύνη που έδειξε προς εμένα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και τον κ. Κωνσταντίνο Νίκα που με ώθησε και με βοήθησε να κάνω μια εξαιρετική πρακτική στο εξωτερικό.

Τελειώνοντας, θέλω να ευχηθώ το καλύτερο σε όλους τους ακαδημαϊκούς μου και να συνεχίσουν να εργάζονται με το ίδιο πάθος ώστε να οπλίζουν με θάρρος όλους τους σπουδαστές τους και μελλοντικούς πτυχιούχους Μηχανολόγους Μηχανικούς Τ.Ε..

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ενότητα	Τίτλος	Σελ.
	Περιεχόμενα	4
	Περίληψη	8
	Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1^ο	Προπαρασκευή μεταλλευμάτων και πυρομεταλλουργικές κατεργασίες	
1.1.	Μηχανική προπαρασκευή και εμπλουτισμός	12
1.1.1.	Μηχανική προπαρασκευή	13
1.1.2.	Εμπλουτισμός	13
1.2.	Βασικές πυρομεταλλουργικές κατεργασίες	14
1.2.1.	Μέθοδος ξήρανσης	14
1.2.1.2.	Μέθοδος εξάτμισης	14
1.2.2.	Μέθοδος πύρωσης	19
1.2.2.1.	Καμίνια και συσκευές πύρωσης	21
1.2.3.	Μέθοδος φρύξης	22
1.2.3.1.	Οξειδωτική φρύξη	23
1.2.3.2.	Θειωτική φρύξη	25
1.2.3.3.	Αναγωγική φρύξη	26
1.2.3.4.	Χλωριωτική φρύξη	27
1.2.3.5.	Συσσωματική φρύξη	29
1.2.3.6.	Κάμινοι και συσκευές φρύξης	31
1.2.4.	Μέθοδος τήξης	37
1.2.4.1.	Απλή τήξη – ρευστοποίηση	37
1.2.4.2.	Οξειδωτική τήξη	38
1.2.4.3.	Ουδέτερη τήξη	39
1.2.4.4.	Αναγωγική τήξη	39
1.2.5.	Μέθοδος απόσταξης – εξάχνωσης	41
1.2.5.1.	Κάμινοι απόσταξης – εξάχνωσης	44
Κεφάλαιο 2^ο	Μεταλλουργικά καμίνια και προβλήματα αυτών	

2.1.	Τύποι μεταλλουργικών καμινιών	50
2.1.1.	Καμίνια χωνευτηρίου	50
2.1.1.1.	Καμίνια φορητού χωνευτηρίου	50
2.1.1.2.	Καμίνια περιστρεφόμενου χωνευτηρίου	52
2.1.1.3.	Επαγωγικά καμίνια	53
2.1.2.	Καμίνια θερμαινόμενα με ακτινοβολία	55
2.1.2.1.	Έμφλογα καμίνια	55
2.1.2.2.	Συραγγοειδή και δακτυλιοειδή καμίνια	57
2.1.2.3.	Περιστροφικοί κλίβανοι	58
2.1.2.4.	Καμίνια πολλαπλών δαπέδων	59
2.1.2.5.	Καμίνια βολταϊκού τόξου	59
2.1.3.	Φρεατώδη καμίνια	61
2.1.3.1.	Υψικάμινι	61
2.1.3.2.	Χαμηλά φρεατώδη καμίνια	62
2.1.3.3.	Χαμηλά ηλεκτρικά καμίνια	63
2.1.3.4.	Κλίβανοι τήξη με χρήση πλάσματος	64
2.2.1.	Καύση στερεών καυσίμων	65
2.2.2.	Καύση υγρών καυσίμων	68
2.2.3.	Καύση αερίων καυσίμων	70
2.2.4.	Ηλεκτρική θέρμανση καμινιών	71
2.3.	Θερμοκρασία φλόγας	74
2.4.	Ανάκτηση της αισθητής θερμοκρασίας των καυσαερίων και θερμικά ισιζύγια	77
Κεφάλαιο 3^ο	Πυρίμαχα υλικά και αντιδιαβρωτικές επενδύσεις	
3.1.	Χαρακτηριστικές ιδιότητες πυρίμαχων υλικών	82
3.1.1.	Αντοχή στη θερμοκρασία	82
3.1.2.	Αποφλοίωση	83
3.1.3.	Διαστολή και συστολή	84
3.1.4.	Πορώδες και πυκνότητα	86
3.1.5.	Θερμικές ιδιότητες	88
3.1.6.	Αντοχή στην επίδραση σκουριάς και αερίων	91

3.2.	Διάφοροι τύποι πυρίμαχων	92
3.2.1.	Αργυλοπυριτικά πυρίμαχα	92
3.2.2.	Πυριτικά πυρίμαχα	94
3.2.3.	Βασικά πυρίμαχα	95
3.2.4.	Θερμομονωτικά πυρίμαχα	97
3.3.	Προβλήματα χρήσης πυρίμαχων	98
3.3.1.	Εκλογή πυρίμαχου	98
3.3.2.	Χρήση των πυρίμαχων	99
3.3.3.	Αντιδιαβρωτικές επενδύσεις	101
3.3.4.	Αντιδιαβρωτικοί χάλυβες και χυτοσίδηροι	103
3.3.5.	Αντιδιαβρωτικά μέταλλα και κράματα	104
Κεφάλαιο 4^ο	Πειραματικό μέρος	
4.1.	Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή	108
4.2.	Κόστος κατασκευής – εκλογή υλικών – δυναμικότητα καμινιού	117
4.2.1.	Κόστος κατασκευής	117
4.2.2.	Εκλογή υλικών	118
Κεφάλαιο 5ο.	Συμπεράσματα προτάσεις βελτίωσης	122
Παράρτημα.	Μηχανολογικό σχέδιο καμινιού	128
	Βιβλιογραφία	130

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η δυνατότητα κατασκευής και η απόδοση κλιβάνου τήξης με κατανάλωση αερίου καυσίμου, σε ημι-βιομηχανική κλίμακα. Κλιβάνοι αυτού του τύπου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είτε για την τήξη καθαρών μετάλλων που λαμβάνονται μετά την προπαρασκευή και τον εμπλουτισμό ορυκτών πρώτων υλών, είτε για την ανάτηξη ανακυκλούμενων μεταλλικών υλικών παρόμοιας χημικής σύστασης.

Προκειμένου να προσεγγισθεί σφαιρικά το πρόβλημα, πραγματοποιήθηκε καταρχήν σχετική βιβλιογραφική μελέτη, η οποία συνοψίζεται στα ακόλουθα:

- Πυρομεταλλουργικές διεργασίες για τη λήψη μεταλλικού τήγματος δεδομένης χημικής σύστασης (ξήρανση , φρύξη , τήξη , πύρωση , απόσταξη - εξάχνωση)
- Κλιβάνοι που χρησιμοποιούνται ανά διεργασία και μέταλλο και προβλήματα που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν ανά περίπτωση.
- Προστασία κλιβάνων με τη χρήση πυράντοχων/ πυρίμαχων εσωτερικών επενδύσεων και προβλήματα που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν κατά περίπτωση
- Ενεργειακές απαιτήσεις κλιβάνων τήξης και απόδοσή τους

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η σχεδιομελέτη και κατασκευή κλιβάνου τήξης εύτηκτων πρώτων υλών από ανακύκλωση, ο οποίος χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη το προπάνιο. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε και παρουσιάζεται, για την ειδική περίπτωση τήξης ανακυκλούμενων απορριμμάτων αλουμινίου και κραμάτων του:

- Ο διαστασιακός υπολογισμός ενός τέτοιου κλιβάνου από μέρη/ υλικά που μπορεί κάποιος να βρει εύκολα σε σημεία ανακύκλωσης
- Η μελέτη της προστασίας των εσωτερικών τοιχωμάτων του κλιβάνου από τη διαβρωτική δράση του υγρού μετάλλου
- Το θερμικό ισοζύγιο για την τήξη συγκεκριμένης ποσότητας πρώτης ύλης
- Το κόστος ανά μονάδα βάρους παραγόμενου για την καύσιμη ύλη που χρησιμοποιήθηκε.

Τέλος, έγινε συγκριτική αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης σε σχέση με εναλλακτικές, βάσει του κόστους και των λοιπών ωφελειών από τη χρήση προπανίου ως καύσιμης ύλης

Abstract

In the current thesis, the aim is to study the ability to construct furnaces and to measure the output of melting with the use of fuel gas on a semi-industrial scale. Furnaces of this type can be used either in the melting of pure metals resulting from the preparation and the enrichment of raw material minerals or the re-melting of recycled metallic materials of a similar chemical composition.

In order to approach the problem spherically, I initially conducted the relative bibliography research which is summarized in the following:

- Use of fire for metallurgical processes regarding the input of liquefied metal with the given chemical composition (drying , calcination , liquification , roasting , distillation)
- Furnaces utilized for each process and the use of different metals, and the need to address the problems in each case.
- Preservation of the furnaces through the use of fireproof internal casing and the problems that need to be addressed where applicable.
- Energy requirements for melting furnaces and their output.

Subsequently, the design and construction of melting furnaces and meltable raw materials resulting from recycling occurs which utilizes propane as a fuel. More specifically, the study presented that for the specific case of melting recycled refuse of aluminum and its alloys :

- The dimensional calculation of such a furnace composed of materials that someone can easily find in recycling locations.
- The preservation of the internal furnace panels from the corrosive effects of the liquid metal.
- The insulating equilibrium for the melting of the specific raw material quantity.
- The cost per unit weight produced for the fuel utilized.

In conclusion, a comparative evaluation was made for the proposed solution with alternatives based on cost, and other benefits acquired from the use of propane as fuel.

Εισαγωγή

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός φούρνου – καμινιού για την τήξη μετάλλων σε ημι – βιομηχανική κλίμακα από scrap – ανακυκλώσιμα μεταλλικά υλικά τα οποία έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους. Μέχρι και πριν από αρκετά χρόνια τα μεταλλικά υλικά τα οποία ήταν αναγκαία για την κάλυψη των αναγκών μας τα προμηθευόμασταν αποκλειστικά από το έδαφος. Τα κοιτάσματα της γης όμως δεν είναι ανεξάντλητα και αυτό μας έκανε να στραφούμε στην ανακύκλωση μεταλλικών υλικών τα οποία έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους. Από τα ανακυκλώσιμα υλικά , σήμερα καλύπτεται το 50% περίπου των αναγκών του πλανήτη. Αυτά συλλέγονται και περνάνε από μια διαδικασία καθαρισμού και κατηγοριοποίησης πριν από την επαναχρησιμοποίηση τους. Για να επαναχρησιμοποιηθούν αυτά η πρακτική που ακολουθείτε σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις είναι η τήξη. Αυτή επιτελείται μέσα σε ειδικές συσκευές οι οποίες ικανοποιούν τις απαιτήσεις της διαδικασίας που είναι αρκετά υψηλές λόγω των θερμοκρασιών που επιβάλλονται για την τήξη των μετάλλων. Κατά τη διαδικασία λοιπόν κύριο μέλημα μας είναι η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο καμίνι – συσκευή τήξης για να επιτευχθεί η τήξη. Πράγμα που σημαίνει πως πρέπει να γίνει σωστή μελέτη σε ότι αφορά τη θερμομονωτική του ικανότητα αλλά κυρίως τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται διότι είναι πολύ πιθανόν να προσβληθούν από τη δραστηριότητα του ρευστού μετάλλου. Από τα παλιά κιάλας χρόνια (εποχή σιδήρου και χαλκού) είχαν βρει τρόπους να επεξεργάζονται το μέταλλο για να πετύχουν το διαχωρισμό του μετάλλου από το στείρο μέρος και την εξαγωγή του πρωτόχυτου μετάλλου. Αυτό το κατάφεραν κυρίως με τη χρήση φρεατωδών καμινιών και με τη μέθοδο της οξειδωτικής φρύξης η οποία αναλύεται. Με το πέρασ των χρόνων επινοήθηκαν νέες τεχνικές που έχουν όμως κοινό στοιχείο την τήξη και χρησιμοποιήθηκαν διάφορα καύσιμα υλικά όπως ο λιγνίτης , ο γαιάνθρακας , διάφοροι τύποι πετρελαίου κτλ. Τα παραπάνω όμως , αποδείχθηκε πως είναι ρυπογόνα και επιβαρύνουν το περιβάλλον έτσι στραφήκαμε προς την παραγωγή θερμότητας μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς αυτό να σημαίνει την πλήρη διακοπή χρήσης στερεών και υγρών καυσίμων. Η ηλεκτρική ενέργεια από τη μεριά της αποδείχθηκε λιγότερο ρυπογόνος λύση αλλά πολύ πιο ακριβή. Πράγμα που μας έκανε να στραφούμε στη χρήση καμινιών πλάσματος που είναι πιο οικονομικά και εκπέμπουν ελάχιστους ρύπους. Έτσι και εγώ αποφάσισα να παραθέσω τη δική μου

πρόταση για την μελέτη και κατασκευή ενός μικρού φούρνου αερίου καυσίμου (προπανίου) που θα μπορεί να τήκει τουλάχιστον αλουμίνιο την οποία και υλοποίησα. Περιγράφεται εκτενώς όλη η διαδικασία κατασκευής του καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και δίδονται σχετικές φωτογραφίες από την πρόοδο κατασκευής του. Πριν όμως προχωρήσω στην παρουσίασή του θα σας περιγράψω το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά όλη τη διαδικασία εξαγωγής μετάλλου.

Κεφάλαιο 1^ο

Προπαρασκευή μεταλλευμάτων και πυρομεταλλουργικές κατεργασίες.

Συνοπτικά η παραγωγή μετάλλου από ένα μέταλλευμα δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:



1.1.Μηχανική προπαρασκευή και εμπλουτισμός.

Τα ορυκτά (μέταλλευμα) συνήθως βρίσκονται μέσα σε πετρώματα μαζί με άλλα ορυκτά χωρίς κανένα οικονομικό ενδιαφέρον (στείρο). Για τον λόγο αυτό, πριν από οποιαδήποτε χημική κατεργασία πυρομεταλλουργική ή υδρομεταλλουργική το υλικό που εξορύσσεται πρέπει να κατατμηθεί και να διαχωριστούν τα μεταλλοφόρα ορυκτά από το στείρο. Η διεργασία της κατάτμησης συνήθως αποκαλείται μηχανική προπαρασκευή, ενώ η διεργασία του διαχωρισμού των ορυκτών αποτελεί τον καθαυτό εμπλουτισμό.

1.1.1 Μηχανική προπαρασκευής.

Το πρώτο στάδιο της μηχανικής προπαρασκευής είναι η *θραύση*, κατά την οποία τα μεγάλα τεμάχια του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος θρυμματίζονται σε τεμάχια μεγέθους μερικών εκατοστών σε μεγάλους *θραυστήρες*, που μπορεί να είναι γυροσκοπικοί, κωνικοί, σιαγονωτοί, περιστροφικοί–κρουστικοί, κ.ά. Ακολουθεί η *λειοτρίβηση*, προκειμένου το μέγεθος των τεμαχιδίων να μειωθεί στα 10 έως 300 μm. Η λειοτρίβηση γίνεται σε περιστρεφόμενους μύλους, οι οποίοι, αναλόγως του μέσου λειοτρίβησης που περιέχουν, μπορεί να είναι σφαιρόμυλοι (το μέσο λειοτρίβησης είναι μεταλλικές σφαίρες), ραβδόμυλοι (το μέσο λειοτρίβησης είναι μεταλλικές ράβδοι) ή αυτογενείς μύλοι (το μέσο λειοτρίβησης είναι το ίδιο το μέταλλευμα).

Μετά από κάθε στάδιο θραύσης ή λειοτρίβησης, συνήθως μεσολαβεί ένα στάδιο *ταξινόμησης* ως προς το μέγεθος των τεμαχιδίων με κόσκινα (δονούμενα, περιστροφικά, κ.ά.), κοχλιωτούς υδροταξινομητές ή κυκλώνες (υδροκυκλώνες, αεροκυκλώνες). Συχνά το ταξινομημένο μέταλλευμα υπόκειται και σε *έκπλυση* για την απομάκρυνση της λεπτόκοκκου ιλύος

1.1.2.Εμπλουτισμός

Ο εμπλουτισμός του προπαρασκευασμένου υλικού είναι στην ουσία ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος από το στείρο με μεθόδους φυσικές. Ο εμπλουτισμός μπορεί να γίνει με χειροδιαλογή, οπτικό διαχωρισμό, βαρυτομετρικό διαχωρισμό, ηλεκτροστατικό διαχωρισμό, μαγνητικό διαχωρισμό, και επίπλευση (μέθοδος που στηρίζεται στην διαφορά υδρόφιλο–υδρόφοβο ανάμεσα στο μέταλλευμα και τα άλλα ορυκτά).

Το καθαρό μέταλλευμα που παράγεται λέγεται συμπύκνωμα και διατίθεται για την εξαγωγή μετάλλου. Το στείρο χωρίς οικονομική αξία λέγεται απόρριμμα και συνήθως εναποτίθεται σε χώρους κοντά στο εργοστάσιο εμπλουτισμού.

Μετά από τη μηχανική προπαρασκευή και τον εμπλουτισμό ακολουθεί η πυρομεταλλουργία που θα ασχοληθούμε παρακάτω με τις βασικές μεθόδους της ως το στάδιο του ακατέργαστου μετάλλου-πρωτόχυτου.

1.2.Βασικές πυρομεταλλουργικές κατεργασίες.

Ορισμένες πυρομεταλλουργικές κατεργασίες χαρακτηρίζονται ως βασικές καθώς υπεισέρχονται με τρόπο ουσιαστικό στη διαμόρφωση των μεταλλουργικών μεθόδων εξαγωγής των μετάλλων. Πρόκειται για την μέθοδο της **ξήρανσης** , της **πύρωσης** , της **φρύξης** , της **τήξης** και της **εξάτμισης** τις οποίες και θα αναλύσουμε παρακάτω.

1.2.1. Μέθοδος ξήρανσης

Θερμός ατμοσφαιρικός αέρας ή άλλο αέριο διοχετεύεται προς το αποτέλεσμα να Η μέθοδος της ξήρανσης (drying) είναι η μέθοδος κατά την οποία εκδιώκεται το υγρό από το μέταλλευμα. Η ξήρανση επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της εξατμίσεως και ελέγχεται από ορισμένους παράγοντες ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται. Ένας τρόπος λοιπόν είναι με τη μέθοδο **θερμών αερίων** και με επαφή μέσου **θερμών επιφανειών**. Επίσης ανάλογα με τον τρόπο θερμάνσεως του μεταλλεύματος εξαρτάται και η συσκευή μέσα στην οποία διεξάγεται η κατεργασία.

1.2.1.2 Μέθοδος εξατμίσεως

Με θερμά αέρια.

Θερμός ατμοσφαιρικός αέρας ή άλλο αέριο διοχετεύεται προς το μέταλλευμα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Μέρος της θερμότητας του αερίου διοχετεύεται στο περιβάλλον και αποτελεί τις γνωστές σε όλους μας απώλειες.

Αυτό που οπωσδήποτε θέλουμε να γνωρίζουμε στη συγκεκριμένη μέθοδο είναι ο όγκος του θερμού αερίου που χρειαζόμαστε ώστε να εξατμιστεί ένα χιλιόγραμμα υγρασίας από το μέταλλευμά μας. Το ποσό αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία

και τον υγρομετρικό βαθμό τόσο του προσαγόμενου όσο και του απαγομένου αέρος.

Υπολογισμός για αφαίρεση 1Kg υγρασίας από το μέταλλευμα.

1/ $x_1 - x_2 = L$ (Kg) ξηρού αέρα και αντίστοιχα η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας ανά Kg αέρα είναι

$$q \Rightarrow L(\Delta H_2 - \Delta H_1) \Rightarrow \Delta H_2 - \Delta H_1 / x_2 - x_1$$

Θερμοκρασία εισερχομένων αερίων t_1

Υγρομετρικός βαθμός ϵ_1

Θέρμανση του αέρα στους επιθυμητούς βαθμούς t

Ποσότητα αέρα L

Θερμοκρασία εξαγομένων αερίων t_2

Υγρομετρικός βαθμός εξαγομένων αερίων ϵ_2

Υδρατμοί ανά Kg αερίου x_1, x_2

Ενθαλπία αερίου σε θερμοκρασία εκκίνησης και απαγωγής $\Delta H_2, \Delta H_1$

Τύπος υπολογισμού ενθαλπίας αερίου:

$$\Delta H = 0,24t + x(0,46t + 595)$$

Εφόσον γνωρίζουμε τις τιμές x και t μέσω των παραπάνω εξισώσεων προκύπτει ότι :

$$x = (\epsilon_{rk} / P - \epsilon_{rk}) 0.622$$

Το συμπέρασμα λοιπόν είναι πως όσο μεγαλύτερος είναι ο υγρομετρικός βαθμός του αρχικού αέρα τόσο μεγαλύτερη ή απαιτούμενη είναι θερμότητα ξήρανσης q και η ποσότητα αέρα L .

Με επαφή μέσω θερμών επιφανειών.

Κατ' αυτό τον τρόπο εξατμίσεως της υγρασίας από το μέταλλεμά μας η θερμότητα μεταδίδεται προς αυτό μέσω μιας θερμής επιφάνειας πάνω στην οποία φέρεται. Υπό τις συνθήκες αυτές η θερμοκρασία του μεταλλεύματος δεν υπερβαίνει το σημείο βρασμού της υγρασίας όμως τείνει προς τη θερμοκρασία της επιφάνειας.

Εφόσον η θεοκρασία της επιφάνειας είναι μεγαλύτερη από αυτή της θερμοκρασίας βρασμού της υγρασίας τότε θα έχουμε ταχεία εξάτμιση αυτής και πολύ ταχύτερη από τον τρόπο που αναλύσαμε παραπάνω. Στην περίπτωση όμως που η θερμοκρασία της επιφάνειας είναι μικρότερη από αυτής του βρασμού τότε η εξάτμιση της υγρασίας καθιστάτε βραδύτερη και απαιτείται και η κυκλοφορία αέρα πάνω από το μέταλλεμα με σκοπό την απαγωγή της υγρασίας.

Κατά κανόνα σ' αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται και ακτινοβολία έτσι ώστε να επιταχυνθεί η αύξηση της θερμοκρασίας (με αγωγή) που έχει ως αποτέλεσμα να επιταχύνεται η διαδικασία της ξήρανσης.

Συσκευές ξηράνσεως.

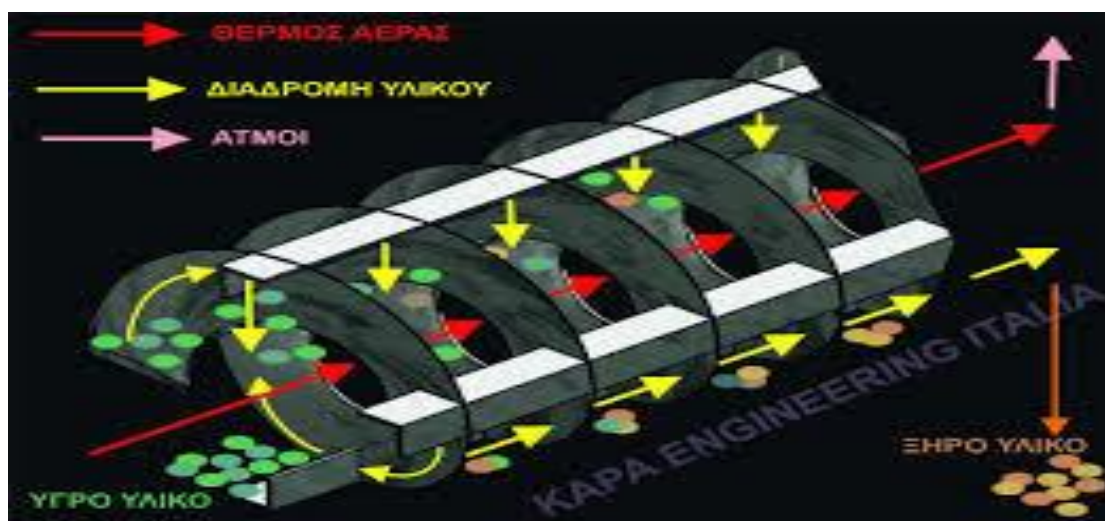
Η διαδικασία ξήρανσης του μεταλλεύματος λαμβάνει χώρα σε κάποιες ειδικές συσκευές που αποκαλούνται ξηραντήρια και διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο παροχής θερμότητας σε **άμεσα** και **έμμεσα** ξηραντήρια.

Στα άμεσα ξηραντήρια το μέταλλεμα έρχεται σε επαφή με τα θερμά αέρια ενώ στα

έμμεσα τα θερμά αέρια ζεσταίνουν μια επιφάνεια η οποία έρχεται σε επαφή με το ως προς ξήρανση μέταλλευμα.

Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ξηραντήρια στη μεταλλουργία είναι τα:

Περιστροφικά τα οποία μπορούν να είναι άμεσα τα οποία διαθέτουν ένα κύλινδρο μέσα από τον οποίο διοχετεύεται το μέταλλευμα και ο θερμός αέρας και τα έμμεσα περιστροφικά διαθέτουν δυο κυλίνδρους τον ένα μέσα στον άλλο και ο εσωτερικός φέρει το μέταλλευμα ως προς ξήρανση.

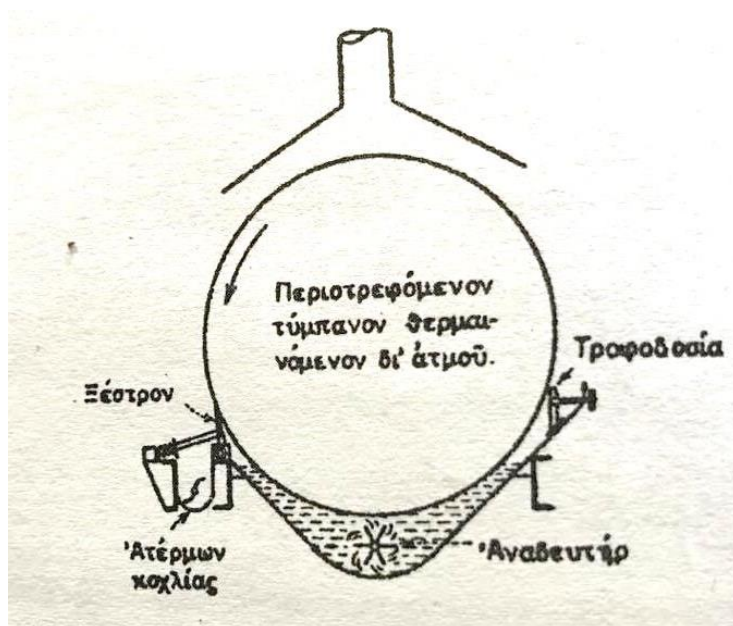


Εικ.1. – Περιστροφικό ξηραντήριο

Ατέρμονος με πλακοταινία είναι άλλος ένας τύπος στον οποίο το μέταλλευμα φέρεται πάνω στον ατέρμονα πλακοταινίας ο οποίος είναι εγκατεστημένος μέσα σε ένα στατικό θάλαμο και η θέρμανση του επιτυγχάνεται μέσω επαφής αυτού με το θερμό αέρα είτε μέσω ακτινοβολίας υπέρυθρων ακτινών ή άλλων μέσων.

Τύμπανο ξηράνσεως

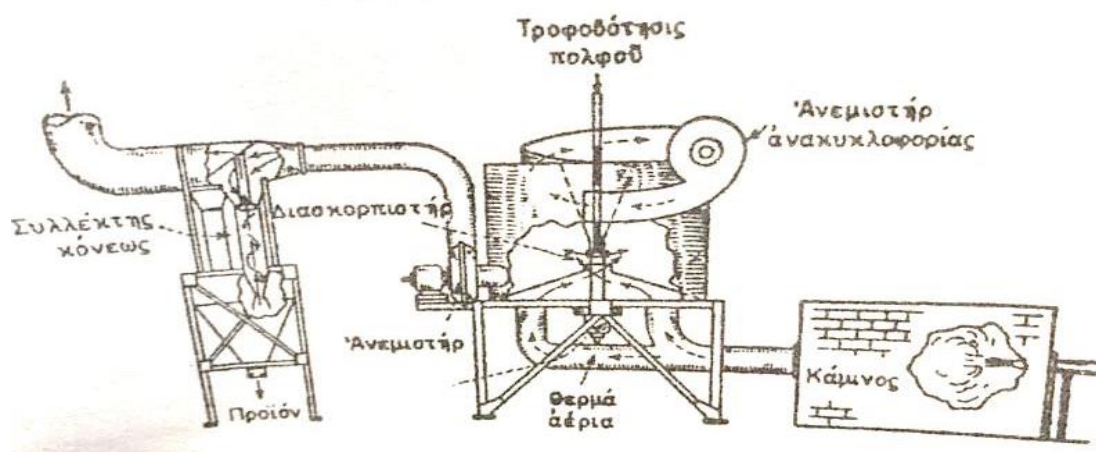
Χρησιμοποιείται για ξήρανση πολφού. Το μέταλλευμα τροφοδοτείται στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου και θερμαίνεται με ατμό και η ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου ρυθμίζεται έτσι ώστε η ξήρανση να επιτυγχάνεται σε λιγότερο από μια περιστροφή.



Εικ.2. – Τύμπανο ξηράνσης

Ξηραντήρια στροβιλώδους ανάδευσης

Το μετάλλευμα εκτοξεύεται φυγοκεντρικά σε στατικό θάλαμο κυκλικής διατομής και έρχεται σε επαφή με θερμά αέρια τα οποία το αποξηραίνουν ταχύτατα.



Εικ.3. – Ξηραντήριο στροβιλώδους ανάδευσης

1.2.2 Μέθοδος πύρωσης.

Πύρωση (calcining) καλείται η πυρομεταλλουργική κατεργασία κατά την οποία προκαλείται η αλλαγή του μεταλλεύματος που οφείλεται στην αλλοτροπική μεταβολή των σύνθετων σωμάτων που εμπεριέχονται σ' αυτό (οξειδίων και θειούχων ενώσεων). Κυρίως όμως η κατεργασία αυτή έχει σκοπό την διάσπαση των ανθρακικών, θειικών ή και πυριτικών ενώσεων. Η διαδικασία αυτή συνήθως συνοδεύει και συσσωμάτωση η οποία είναι και αυτή μια από τις επιδιώξεις μας. Η κατεργασία αυτή διεξάγεται εντός κατάλληλων συσκευών ή καμινιών.

Πύρωση οξειδίων και θειούχων ενώσεων

Κάτω από την επίδραση της θερμότητας οξειδία και θειικές ενώσεις ανωτέρου σθένους του μεταλλεύματος αποβάλλουν το οξυγόνο ή το θείο και μεταπίπτουν σε ενώσεις κατωτέρου σθένους. Πρόκειται για μια θερμική διάσπαση.

Πύρωση των υδροξειδίων του σιδήρου με σκοπό την εκδίωξη της υγρασίας από το μέταλλευμα εφαρμόζεται σχεδόν πάντα όταν αυτό υποβάλλεται σε κατεργασία εντός ηλεκτρικού καμινιού. Μέσω αυτής της εκδίωξης εξασφαλίζεται η ήρεμη τήξη και ο καλύτερος έλεγχος του καμινιού.

Πύρωση ανθρακικών και θειικών ενώσεων

Η διάσπαση των ανθρακικών και θειικών ενώσεων αποτελεί το κύριο πεδίο εφαρμογής της διαδικασίας της πύρωσης.

Περίπτωση ανθρακικών ενώσεων

Η θερμοκρασία της διάσπασης είναι τόσο μεγαλύτερη όσο και το μεγαλύτερο οξείδιο που θέλουμε να διασπάσουμε. Οι ανθρακικές ενώσεις των αλκαλίων δεν γίνεται να υποστούν πύρωση καθώς τήκονται χωρίς να διασπασθούν και συνεπώς η πύρωσή τους επιτυγχάνεται με την παρουσία ανυρδίτου που μπορεί να ενωθεί με το αντίστοιχο βασικό οξύ :



Η πύρωση των ανθρακικών ενώσεων παρουσιάζει μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον. Η παρασκευή οξειδίου του ασβεστίου (CaO) του μαγνησίου (MgO) και άλλων αποτελούν κλασικά παραδείγματα της πύρωσης. Η προκαταρτική εκδίωξη του CO₂ κατά τη διάρκεια αυτής της κατεργασίας διακρίνεται από πολύ μεγάλη σπουδαιότητα όσον αναφορά τη μεταλλουργεία.

Οι ανθρακικές ενώσεις μετάλλων όπως του σιδήρου και του μαγνησίου σχηματίζουν παραπάνω από ένα οξείδιο και κατά τη διαδικασία της πύρωσης και είναι δυνατόν να δώσουν οξείδια ανώτερα από το αντίστοιχο του οξειδίου προς διάσπαση. Αυτό οφείλεται στην οξειδωτική δράση του CO₂. Η προαναφερθείσα οξείδωση είναι επιβλαβής κατά την αναγωγική κατεργασία και ακολουθεί σχεδόν πάντοτε την πύρωση και πρέπει να αποφεύγεται.

Περίπτωση θεικών ενώσεων

Η θερμοκρασία διάσπασης των θεικών ενώσεων είναι υψηλότερη από αυτή της διάσπασης των ανθρακικών ενώσεων.

Με την επαρκή αύξηση της θερμοκρασίας μπορούμε να διασπάσουμε τις θεικές ενώσεις όλων των μετάλλων εξαιρουμένων των θεικών αλκαλίων, του θεικού μολύβδου και του θεικού βισμούθιου. Τα δυο τελευταία διασπώνται μερικώς και σχηματίζουν βασικά άλατα.

Το είδος των εκλυόμενων καυσαερίων κατά τη διάρκεια της διάσπασης των θεικών ενώσεων εξαρτάται από το διασπώμενο θεικό άλας που προέρχεται από υποοξείδιο (M₂O) και εκλύει μόνο SO₂ και προερχόμενο από (M₂O₃) εκλύει μόνο SO₃.

Τέλος η βιομηχανική εφαρμογή πυρώσεως θεικών οξέων είναι πολύ περιορισμένη.

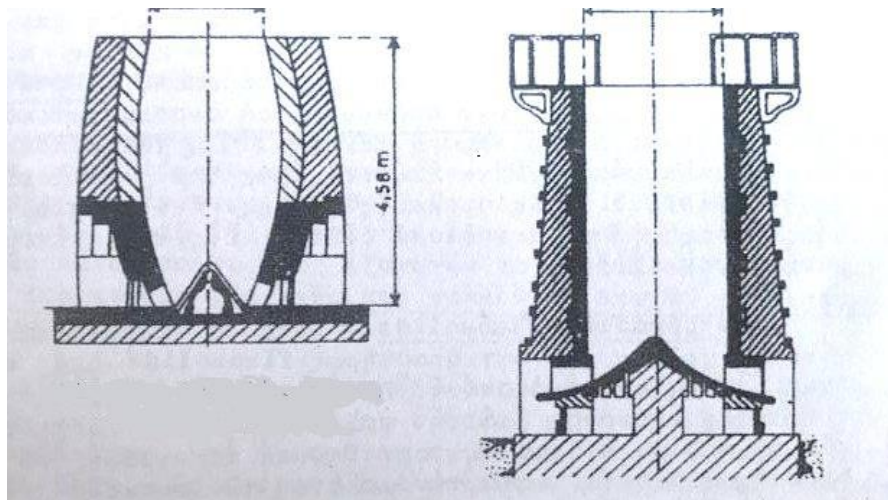
1.2.2.1. Κάμινι και συσκευές πυρώσεως.

Η διαδικασία της πύρωσης διεξάγεται εντός φρεατωδών καμινιών ή περιστροφικών κλιβάνων.

Φρεατώδη καμίνια

Χρησιμοποιούνται για πύρωση χονδρομερών μεταλλευμάτων και έχουν ως μέσω θέρμανσης καύσιμα υλικά. Η θέρμανση γίνεται μέσω καυσαερίων που προέρχονται από καύση σε εξωτερική εστία ή ακόμη και από της φλόγες που προέρχονται από αυτή. (τα καυσαέρια ή οι φλόγες προέρχονται συνήθως από άλλη

Μεταλλουργική κατεργασία (αναγωγή , κωκοποίηση κ.λπ.).



Εικ.4. - Αρ. Φρεατώδη κάμιнос ψευδαργύρου – Δεξ. Φρεατώδη κάμιнос σιδήρου

Περιστροφικοί κλίβανοι πυρώσεως

Είναι οι ίδιοι που έχουν περιγραφεί στην περίπτωση της ξήρανης.

Χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση σε λεπτομερές μετάλλευμα το οποίο κατέρχεται στη κάμινο κατά μήκος λόγω της αλαφριάς κλίσης αυτής (1-2%). Κινείται κατά αντίθετη κατεύθυνση με τα αέρια της καύσης. Για τη θέρμανση αυτού χρησιμοποιούνται υγρά ή στερεοποιημένα καύσιμα ή ακόμη και θερμαινόμενα αέρια και η καύση γίνεται εντός ειδικού θαλάμου εγκατεστημένο στο άκρο του καμινιού από όπου και εξέρχεται το προϊόν.

Καμίνια Dwight-Lloyd

Αυτός ο τύπος επινοήθηκε για τη διαδικασία της φρύξης που θα αναλύσουμε σε επόμενη παράγραφο αλλά στις μέρες μας γίνεται μεγάλη χρήση αυτής για την κατεργασία της σωματικής πύρωσης.

Αντιδραστήρας Fluosolids

Όπως και η παραπάνω συσκευή επινοήθηκε για τη διεργασία της φρυξης που όμως και αυτή στις μέρες μας χρησιμοποιείται ευρέως για τη πύρωση.

1.2.3 Μέθοδος φρύξης

Ως φρύξη (roasting) χαρακτηρίζεται η πυρομεταλλουργική κατεργασία κατά την οποία το μετάλλευμα θερμαίνεται μέσω μιας ξένης ουσίας με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να λαμβάνουν χώρα μεταλλουργικές αντιδράσεις ενώσεως ή αντικαταστάσεως. Εκτός από κάποιες εξαιρέσεις οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται από αποβολή πτητικού συστατικού. Ανάλογα με τη φύση του μεταλλεύματος και της ξένης ουσίας έχουμε διάφορες κατηγορίες φρύξης.

- **Οξειδωτική φρύξη**
- **Θειωτική φρύξη**
- **Αναγωγική φρύξη**
- **Χλωριωτική φρύξη**

1.2.3.1. Οξειδωτική φρύξη

Πρόκειται για το σημαντικότερο είδος φρύξεως το οποίο εφαρμόζεται σε θειούχα μεταλλεύματα και σπανιότερα σε αρσενικούχα και τελουριούχα.

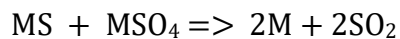
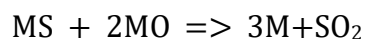
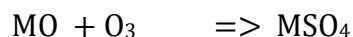
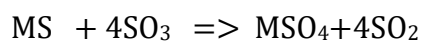
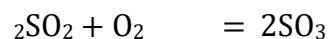
Ως μέσω οξείδωσης χρησιμοποιείται αέρας φυσικός ή εμπλουτισμένος με οξυγόνο και σε εξαιρετικές περιπτώσεις με υδρατμούς ή νιτρικά άλατα. Ανάλογα του βαθμού της εκδίωξης η φρύξη χαρακτηρίζεται ως **ολική** ή **μερική**.

Κατά την ολική φρύξη επιδιώκεται η πλήρη απομάκρυνση του θείου από τη θειούχα ένωση και η μετατροπή του σε οξείδιο το οποίο ανάγεται εύκολα. Θεωρείται λοιπόν πλήρης και το φρύγμα κατάλληλο προς αναγωγή όταν έχει αποβληθεί το 98% του περιεχόμενου θείου.

Η βασική αντίδραση της φρύξης είναι:



Και συνοδεύεται από τις παρακάτω ακόλουθες αντιδράσεις :

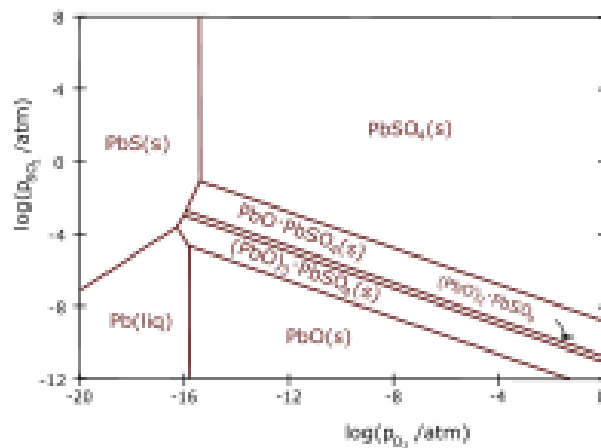


Πρόκειται κυρίως περί αντιδράσεων θειούχων ενώσεων με οξείδιο ή θειικής ένωσης με το ίδιο το μέταλλο.

Για να επιτευχθεί πλήρης φρύξη απαιτείται υψηλή θερμοκρασία και ταχεία απαγωγή των καυσαερίων. Υπό τις συνθήκες αυτές ισχύει η βασική χημική αντίδραση που αναφέρθηκε παραπάνω.

Παρουσία MSO_4 στο φρύγμα είναι αρκετά απίθανη και ιδιαίτερος αν η θερμοκρασία είναι σε τέτοια επίπεδα στα οποία προκαλείται η διάσπαση της θειικής ένωσης.

Κατά την μερική φρύξη θειούχων μεταλλευμάτων το φρύγμα περιορίζεται στην τήξη προς λήψη matte, η φρύξης και διακόπτεται πριν την ολοκλήρωσή της έτσι ώστε να παραμένει η αναγκαία ποσότητα θείου μέσα σ αυτό για το σχηματισμό της επιθυμητής περιεκτικότητας matte. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις συμπυκνωμάτων που περιέχουν σιδηροπυρίτη (FeS_2) και χαλκοπυρίτη (CuFeS_2), σιδηροπυρίτη και μιλλερίτη (NiS)



Εικ.5. – Διάγραμμα φρύξης

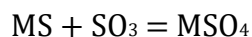
Matte ονομάζεται η φάση κατά την οποία το τήγμα μας δεν έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία της φρύξης. Κατά αυτή τη φάση γίνεται η απαγωγή των ακαθαρσιών λόγω του ότι έχουν διαφορετικό ειδικό βάρος από το μέταλλο που θα προκύψει.

1.2.3.2. Θειωτική φρύξη

Η θειωτική φρύξη αφορά αποκλειστικά τα θειούχα μεταλλεύματα και έχει ως σκοπό τη μετατροπή των θειούχων ενώσεων σε θειικές έτσι ώστε να είναι πιο ευδιάλυτες με σκοπό την περαιτέρω εφαρμογή υδρομεταλλουργικών κατεργασιών για την εξαγωγή μετάλλων. Ένα παράδειγμα είναι η εξαγωγή του χαλκού από φτωχά μεταλλεύματα.

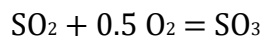
Για να ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία πρέπει να πληρούνται κάποιες σημαντικές προϋποθέσεις .

1. Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη και κατώτερη της θερμοκρασίας αναστροφής της θειικής ένωσης. Αυτό βέβαια καθιστά τη διαδικασία βραδύτερη.
2. Η περιεκτικότητα των αερίων σε SO_3 πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη , πράγμα που σημαίνει πως η διαδικασία πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατόν μικρότερη ποσότητα αέρα για να αποφεύγεται η αραίωση τους. Προς ενίσχυση των αερίων με SO_3 προσθέτουμε στο μέταλλευμα θειούχο σίδηρο (FeS) ή άλλα θειικά άλατα τα οποία διασπώνται εύκολα έτσι ώστε να προκύψει ο εμπλουτισμός.
3. Όσο το δυνατόν καλύτερη επαφή μεταξύ του αερίου και του μίγματος και του ήδη επαρκώς οξειδωμένου μεταλλεύματος για να ευνοηθεί η επιθυμητή αντίδραση



η οποία είναι και η κυριότερη αντίδραση θειώσεως.

4. Παρουσία του τριοξειδίου του σιδήρου (Fe_2O_3) , το οποίο ενεργεί ως καταλύτης της αντίδρασης.



μέσω της οποίας σχηματίζεται το SO_3

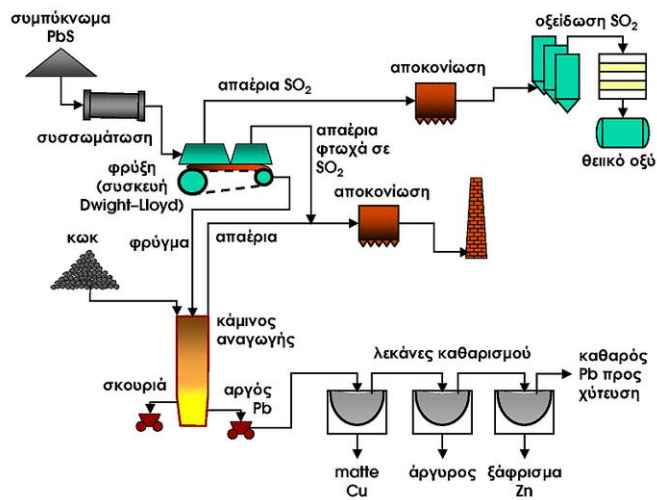
1.2.3.3. Αναγωγική φρύξη

Η αναγωγική φρύξη εφαρμόζεται κυρίως στις περιπτώσεις των οξειδίων ενίοτε όμως και σε άλλες περιπτώσεις διάφορων ενώσεων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αναγωγή γίνεται σε στερεά κατάσταση, όπως συμβαίνει, π.χ., κατά την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου σε ειδικές φρεατώδεις καμίνοους. Όμως πιο συχνά, η αναγωγή των μεταλλικών ενώσεων γίνεται στην υγρή κατάσταση. Για παράδειγμα, με την αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων στην υψικάμινο προκύπτει υγρός χυτοσίδηρος. Παρομοίως παράγεται αργός μόλυβδος με την αναγωγή συμπυκνωμάτων γαληνίτη (PbS) που έχουν υποστεί προηγουμένως φρύξη και πυροσυσσώματωση. Μαζί με το αργό μέταλλο παράγεται και μία άλλη φάση, η *σκουριά*, που είναι μείγμα τηγμένων οξειδίων που ως ελαφρύτερα δεν αναμειγνύονται με το τηγμένο μέταλλο. Έτσι η απόχυση του μετάλλου γίνεται χωριστά από την απόχυση της σκουριάς.

Σε μερικές περιπτώσεις, πριν την παραγωγή του αργού μετάλλου παράγεται μια ενδιάμεση φάση, η οποία είναι το αποτέλεσμα της μερικής αναγωγής της τροφοδοσίας. Για παράδειγμα, με την πρώτη αναγωγή θειούχων χαλκομεταλλευμάτων, παράγεται μια φάση που αποκαλείται *matte* (ματ) και η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μείγμα θειούχου χαλκού (Cu_2S) και θειούχου σιδήρου (FeS) με περιεκτικότητα σε Cu 50 έως 70% κ.β.

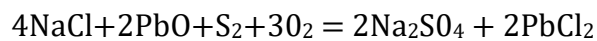
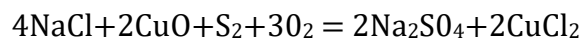
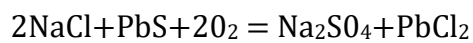
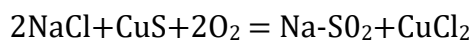
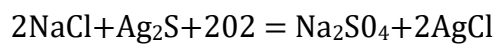
Ως αντιδραστήρες αναγωγής χρησιμοποιούνται φρεατώδεις κάμινοι, όπως η υψικάμινο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χυτοσιδήρου, κάμινοι ανοικτής εστίας ή έμφλογες κάμινοι, όπως η κάμινο Siemens–Martin που χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή χάλυβα, καθώς και ηλεκτρικές κάμινοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χάλυβα, σιδηροκραμάτων, χαλκού (μέθοδος Mitsubishi), κ.λπ



Εικ.6. – Διαδικασία αναγωγικής φρύξης

1.2.3.4. Χλωριωτική φρύξη

Κατά τη χλωριωτική φρύξη το θειούχο μέταλλευμα αναμιγνύεται με την απαραίτητη ποσότητα ενός χλωριωτικού μέσου και οδηγείται για φρύξη σε οξειδωτικές συνθήκες. Προφανώς σαν χλωριωτικό μέσο χρησιμοποιείτε το NaCl το οποίο υπάρχει άφθονο στη φύση . Οι παρακάτω αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα:

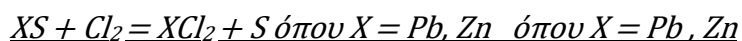


Τα κύρια στάδια της μεθόδου είναι:

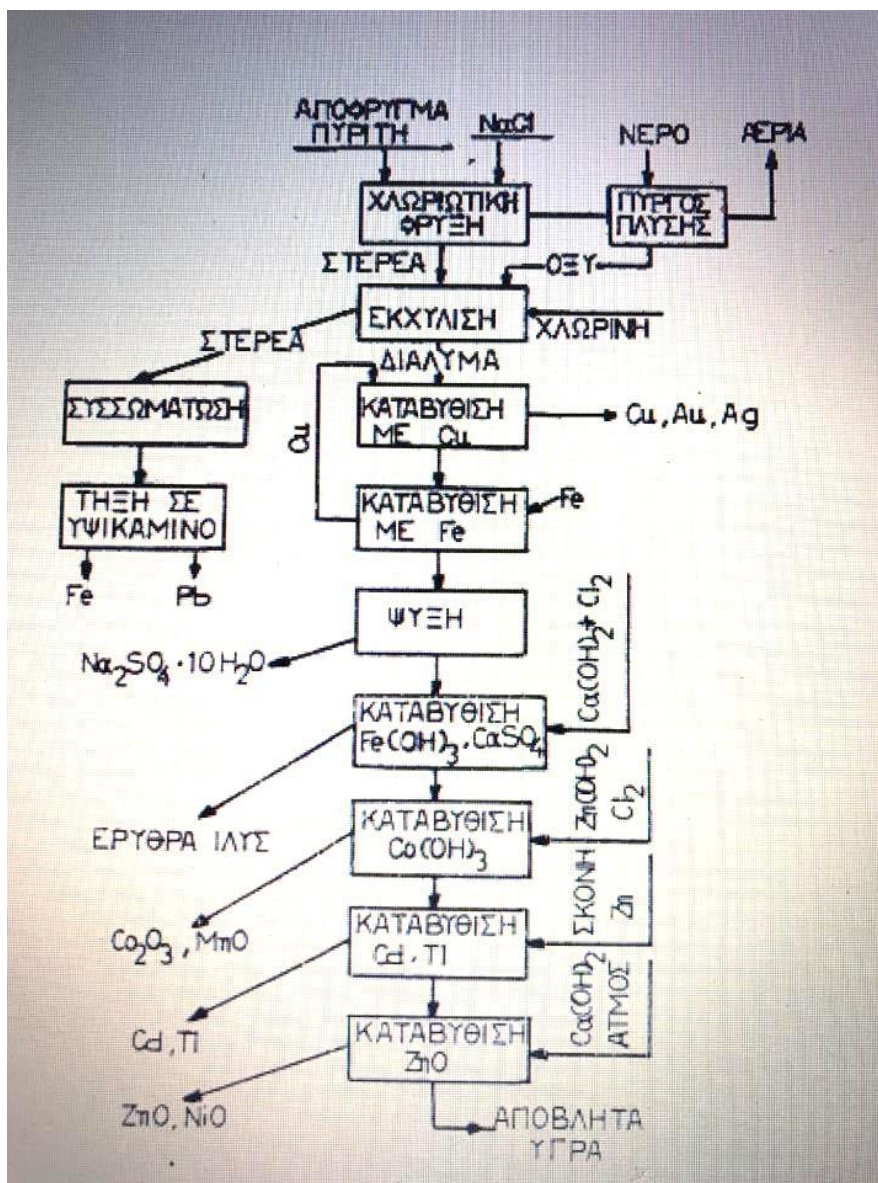
α. Χλωριωτική φρύξη Τα αποφρύγματα πυριτών αναμιγνύονται με 8-10% χλωριούχο νάτριο και φρύσσονται παρουσία αέρα στους 600 C. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα μετατρέπονται σε χλωρίδια ενώ ο σίδηρος παραμένει σαν οξείδιο. Τα αέρια της φρύξης που περιέχουν HCl, SO₂ και SO₃ πλένονται και το προκύπτον οξύ έχει συγκέντρωση περίπου 7% σε HCl.

β. Εκχύλιση του φρύγματος Η εκχύλιση γίνεται με το οξύ που έχει προκύψει από την πλύση των αερίων της χλωριωτικής φρύξης με προσθήκη διαλύματος χλωρίου (χλωρίνης) που είναι απαραίτητο για τη διάλυση του χρυσού. γ) Επεξεργασία του μεταλλοφόρου διαλύματος - Καταβύθιση Au και Ag με χαλκό - Καταβύθιση Cu με Scrap σιδήρου - Καταβύθιση Co σαν Co(OH)₂ αυξάνοντας το PH με προσθήκη Zn(OH)₂ και το δυναμικό οξείδωσης με προσθήκη Cl₂. - Καταβύθιση Cd, Th, In με σκόνη ψευδαργύρου - Ανάκτηση Zn με καταβύθιση του σαν Zn(OH)₂. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των πυριτών, καθόσον ανακτώνται όλες οι μεταλλικές αξίες που υπάρχουν σε αυτούς και επιπλέον παράγεται ένα απόφρυγμα από την χλωριωτική φρύξη που χαρακτηρίζεται σαν ένα εμπορεύσιμο μέταλλευμα σιδήρου υψηλής ποιότητας. Βέβαια οι πολυπλοκότητα της μεθόδου επιβάλλει τον καθορισμό κάποιων προδιαγραφών στα αποφρύγματα των πυριτών, έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί οικονομικά.

Το 1897 έγινε η πρώτη μεταλλουργική χρήση του αέριου χλωρίου σαν χλωριωτικού μέσου στη μέθοδο Swinburne-Ashcroft για την επεξεργασία ενός μικτού θείουχου μεταλλεύματος μολύβδου και ψευδαργύρου. Το γενικό σχήμα των αντιδράσεων αποδίδεται αιτό την παρακάτω εξίσωση :



Μετά τη χλωριωτική φρύξη ακολουθεί εκχύλιση του φρύγματος. Ένα από τα πρώτα εκχυλιστικά μέσα ήταν τα διαλύματα άλμης. Τα χλωριούχα άλατα των μη σιδηρούχων μετάλλων καθώς επίσης και του αργύρου και χρυσού διαλυτοποιούνται στα διαλύματα άλμης από τα ΟΤΤΟ ία ο χαλκός και μολύβδος καταβυθίζονται με αποκασιτερωμένα scrap σιδήρου ενώ ο χρυσός και άργυρος καταβυθίζονται με χαλκό. Η μέθοδος αυτή είχε βρει εφαρμογή σε μεταλλεύματα μολύβδου, χαλκού και αργύρου.



Εικ.7.- Διάγραμμα χλωριωτικής φρύξης

1.2.3.5. Συσσωματωτική φρύξη

Όπως είδαμε ο βασικός σκοπός της χλωριωτικής φρύξης είναι η μετατροπή θειούχων ενώσεων σε οξείδια τα οποία στη συνέχεια υποβάλλονται σε αναγωγική τήξη σε φρεατώδη κάμινο. Από την άλλη τα χρησιμοποιούμενα θειούχα μεταλλεύματα συνίστανται από συμπυκνώματα επιπλεύσεως, δηλαδή λεπτομερέστατα υλικά. Υπό αυτές τις συνθήκες διενεργείται η φρύξη και μέσω αυτής λαμβάνεται συσσωματωμένο φρύγμα του οποίου η μηχανική σύνθεση και υφή είναι τέτοιες ώστε να εξυπηρετούν τις απαιτήσεις της ακόλουθης κατεργασίας.

Ο σκοπός αυτός εξυπηρετείται με τον παρακάτω τρόπο. Στην περίπτωση του γαληνίτη (Pbs) σύμφωνα με τη μέθοδο των Huntington και Heberlein γίνεται πρόσμιξη ασβεστόλιθου και προσφύσεως ή αναρροφήσεως αέρα δια μέσου της μάζας του μίγματος. Ο ασβεστόλιθος λειτουργεί ως μέσω αραίωσης του μίγματος του γαληνίτη και έτσι διευκολύνει στην οξείδωση αυτών ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζει και τη σύσταση της σκουριάς σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ακόλουθης κατεργασίας που είναι η αναγωγική φρύξη. Η ποσότητα αέρα η οποία διέρχεται από το μίγμα μας είναι υπεύθυνος για την απομάκρυνση του σχηματιζόμενου θείου (SO₂) και επιταχύνει την οξείδωση. Επίσης με αυτή τη μέθοδο δημιουργούνται ευνοϊκότερες συνθήκες για την συγκόλληση των τεμαχίων που λαμβάνουν μέρος στην κατεργασία λόγω των αντιδράσεων που αναπτύσσονται μεταξύ στερεών φάσεων και μερικής τήξης των σχηματιζόμενων εύτηκτων ενώσεων. Βασικές αντιδράσεις κατά την κατεργασία αυτή είναι τα όξινα οξείδια που αντιδρούν και σχηματίζονται εύτηκτα πυριτικά , αργιλικά κτλ άλατα.



Εικ.8. - Γαληνίτης (αγγλ. Galena) είναι ορυκτό και το κυριότερο μέταλλευμα του μολύβδου. Έχει χημικό τύπο PbS (θειούχος μολύβδος)

1.2.3.6. Κάμινι και συσκευές φρύξης

Οι συσκευές μέσα στις οποίες λαμβάνει χώρα η κατεργασία της φρύξης είναι οι περιστροφικοί κλίβανοι, οι έμφλογοι κάμινι, τα καμίνια πολλαπλών δαπέδων, οι φρεατώδη κάμινι, η συσκευή Dwight – Lloyd, η συσκευή Floss και τέλος ο αντιδραστήρας Fluosolids.

Περιστροφικός κλίβανος.

Είναι περίπου ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιούμε στις κατεργασίες πύρωσης και ξήρασης. Ο συγκεκριμένος κλίβανος είναι εξοπλισμένος με ένα καυστήρα στο άκρο του και παρουσιάζει το παρακάτω διάγραμμα κατανομής θερμοκρασιών :



Εικ.9. - Διάγραμμα κατανομής θερμοκρασιών περιστροφικού κλιβάνου φρύξης

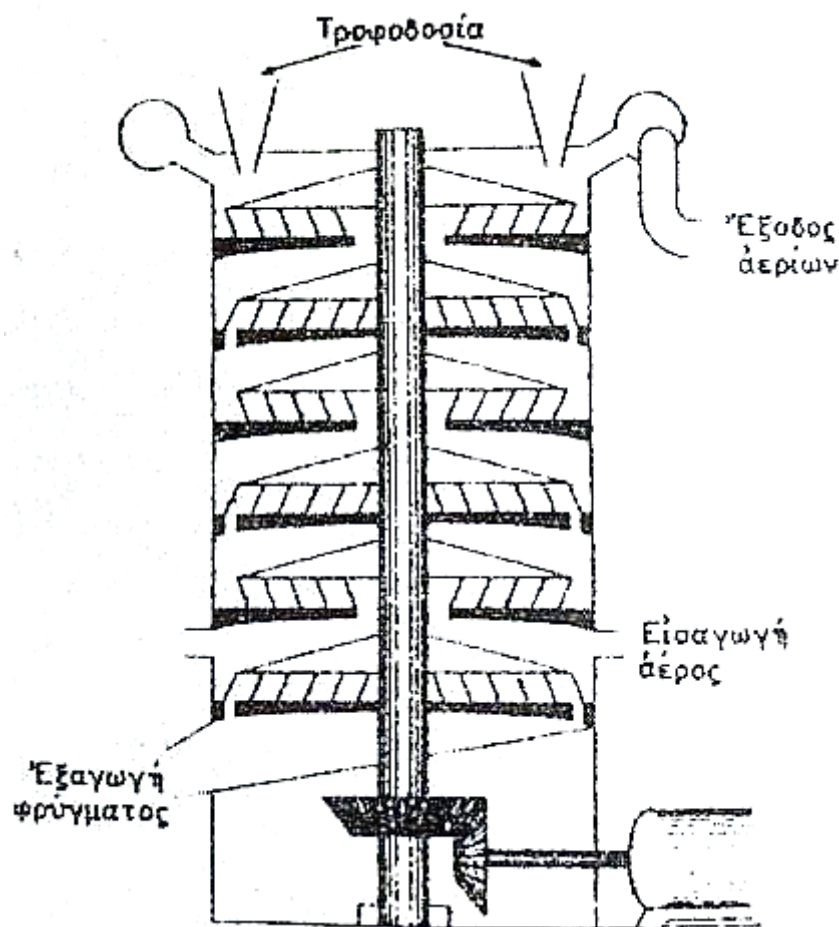
Για τον καλύτερο έλεγχο κατανομής θερμοκρασιών ο κλίβανος διαθέτει σύστημα ελέγχου διανομής του αέρα κατά μήκος του κλιβάνου.

Έμφλογοι κάμινοι φρύξεως

Σ' αυτό το τύπο καμινιού η φρύξη λαμβάνει χώρα πάνω στην ίδια την επιφάνεια του μεταλλεύματος το οποίο είναι στρωμένο σε μικρό πάχος πάνω στο δάπεδο του εν λόγω καμινιού. Μεταξύ αυτής της πλάκας και του θόλου του καμινιού κυκλοφορούν φλόγες οι οποίες θερμαίνουν το χώρο και το μέταλλευμα με επαφή και ο θόλος του θαλάμου με τη σειρά του θερμαίνει το φρύγμα με ακτινοβολία.

Κάμινοι πολλαπλών δαπέδων.

Με αυτό τον τύπο καμινιού εξαλείφεται το μειονέκτημα της μικρής παραγωγικής ικανότητας του έμφλογου καμινιού που όπως είπαμε το μέταλλευμα κατεργάζεται σε μικρές στρώσεις πάνω στην επιφάνεια του θαλάμου του έμφλογου καμινιού. Η παραγωγική δυνατότητα αυτού του καμινιού είναι ανάλογη της επιφάνειας φρύξης, δηλαδή του δαπέδου.



Εικ.10. – Κάμινος πολλαπλών δαπέδων τύπου Herreshof

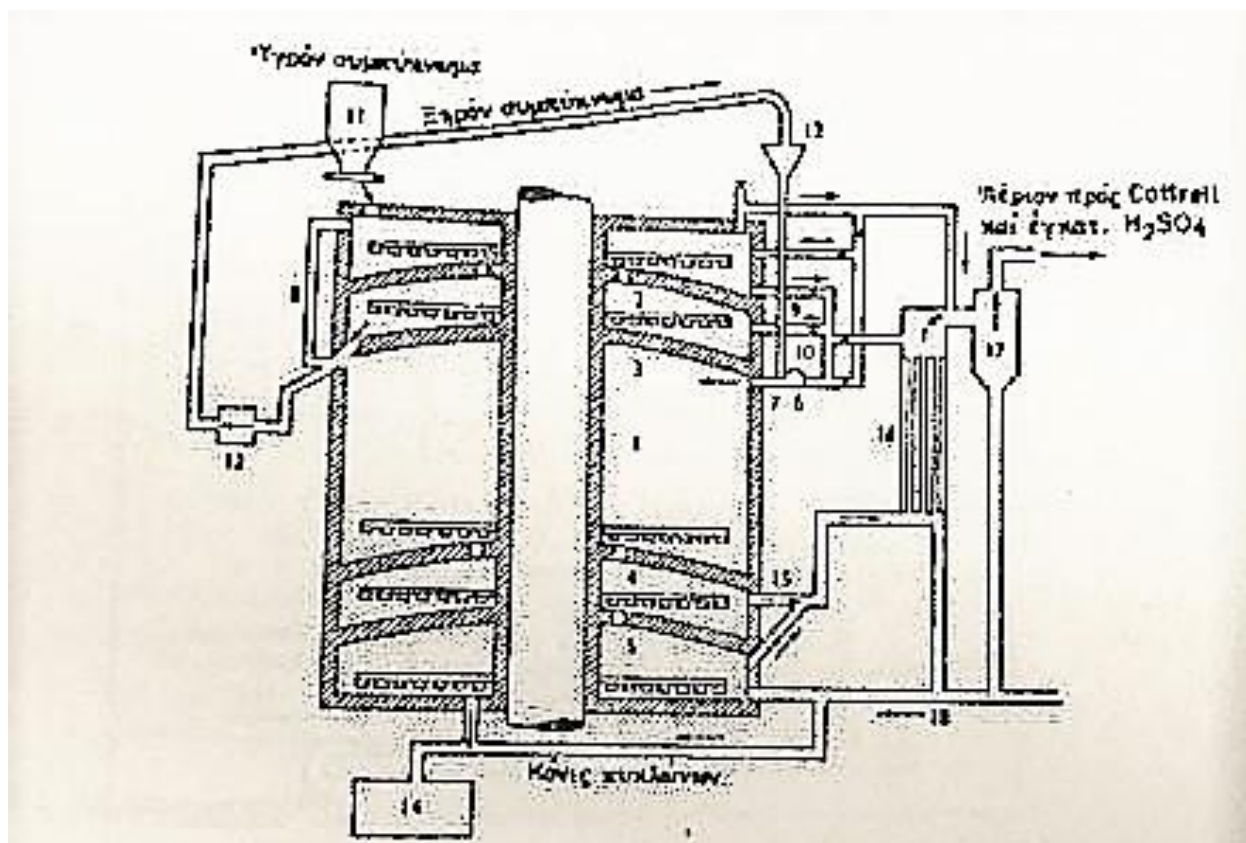
Το μετάλλευμα ποτ θέλουμε να κατεργαστούμε εισέρχεται στην κάμινο από την κορυφή και ακολουθεί κατεύθυνση αντίθετη με αυτή των θερμών αερίων και στα διαδοχικά στρώματα του καμινιού υπάρχει στρωμένο μετάλλευμα σε πάχος 5-10 εκ. το οποίο αναδύεται συνεχώς με τη βοήθεια περιστρεφόμενων βραχιόνων. Η φρύξη λαμβάνει χώρα πάνω στην επιφάνεια του μεταλλεύματος το οποίο οδηγείται εναλλάξ προς το κέντρο και την περιφέρεια των κυκλικών δαπέδων. Κατά την κατεργασία το μετάλλευμα κατέρχεται ενώ τα αέρια ακολουθούν αντίθετη κατεύθυνση πράγμα το οποίο διευκολύνει την καλή ανάκτηση της θερμότητας. Μετά από την έξοδο τα αέρια διέρχονται από την εγκατάσταση Cottrel για το πλήρη διαχωρισμό τους από σκόνες.

Αντιδραστήρας Flash.

Στην εν λόγω συσκευή φρύξης το μετάλλευμα που αρχικά ήταν συμπύκνωμα επιπλεύσεως αφού υποβληθεί σε ξήρανση και λειοτριβή εισάγεται στη συσκευή μέσω του αέρα σε εξαιρετικά λεπτομερέστατη κατάσταση (200 mesh = 0,074 mm) και φρύγεται σε καθώς αιωρείται σε διάστημα ενός δευτερολέπτου.

Πρόκειται περί κυλινδρικού θαλάμου που προκύπτει από την αφαίρεση των δαπέδων του καμινιού **Herreshoff** πλην του ενός ή των δυο τελευταίων τα οποία παραμένουν για να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή του φρύγματος.

Οι συσκευές Flash χρησιμοποιούνται για τη φρύξη συμπυκνωμάτων σιδηροπυρίτη (FeS₂), σφαλερίτη (ZnS) και γαληνίτη (PbS) χωρίς καμία προσθήκη. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στην περίπτωση του σφαλερίτη όταν το μίγμα προορίζεται για υδρομεταλλουργική κατεργασία.



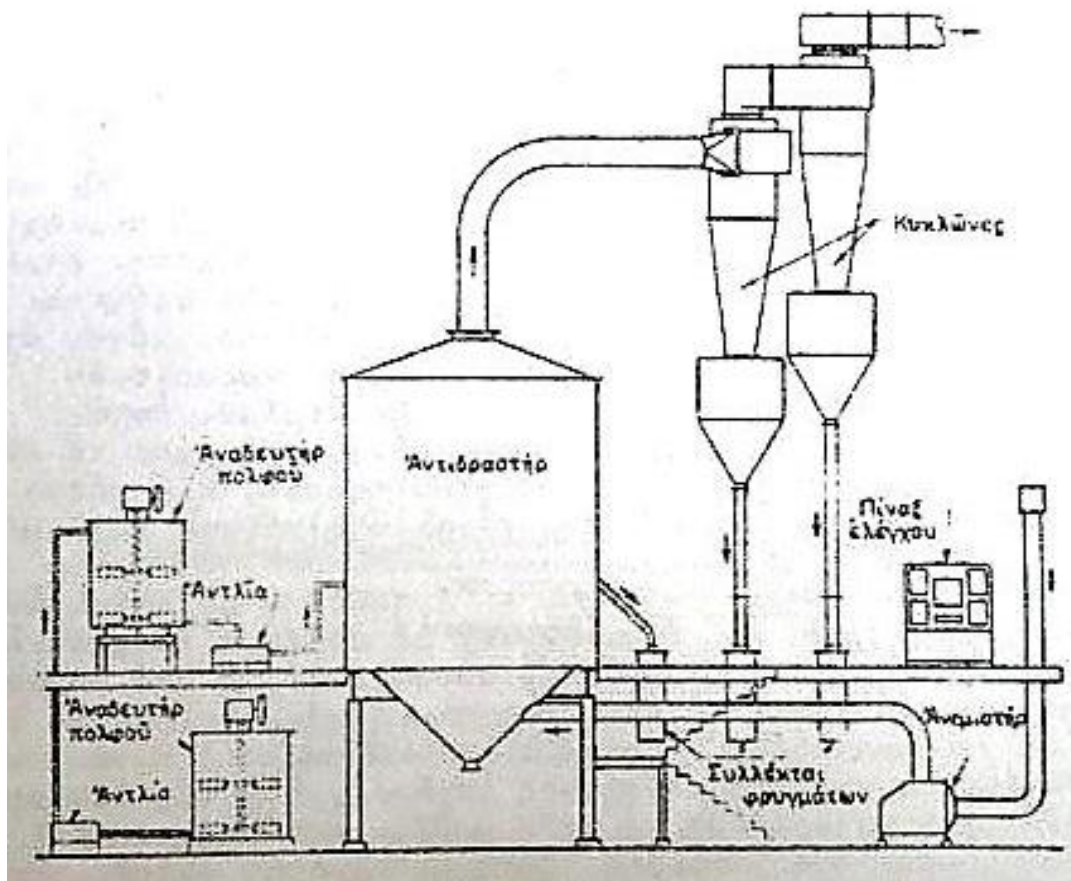
Εικ.11. – Διάταξη εγκατάστασης αντιδραστήρα Flash

1. Θάλαμος καύσης – 2 και 3 Δάπεδα ξήρανσης – 4 και 5 Δάπεδα συλλογής του φρύγματος – 6. Ανεμιστήρας του αέρα καύσης – 7. Καυστήρας – 8,9,10. Ανακύκλωση αερίων – 11. Σιλό υγρού συμπυκνώματος – 12. Σιλό ξηρού συμπυκνώματος – 13. Σφαιρόμυλος – 14. Σιλό φρύγματος – 15. Κύρια απαγωγή αερίων – 16. Λέβητας ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων – 17. Κυκλώνας συλλογής σκόνης – 18. Ατέρμωνας για τη μεταφορά της σκόνης προς το κατώτερο δάπεδο ή στο σιλό του φρύγματος

Αντιδραστήρας Fluosolids.

Ο συγκεκριμένος αντιδραστήρας διαθέτει ένα θάλαμο καύσης με κωνικό πυθμένα . στην επιφάνεια επαφής κυλίνδρου και κώνου είναι εγκατεστημένο ένα διάτρητο δάπεδο πάνω στο οποίο υπάρχει το μέταλλευμα προς φρύξη. Οι οπές του διάτρητου δαπέδου είναι διαμέτρου 1-4 mm και κατέχουν επιφάνεια ίση με το 1/20 – 1/50 της συνολικής επιφάνειας του δαπέδου. Στο συγκεκριμένο αντιδραστήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και υγρό μέταλλευμα χωρίς τη λεπτομερέστατη λειοτριβισή του όπως

στη περίπτωση της συσκευής Flash. Υπάρχουν όμως άλλου είδους περιορισμοί. Όσο αφορά τη μηχανική σύσταση του μεταλλεύματος όταν το ειδικό του βάρος είναι (4-5) πρέπει πρακτικά να συμπίπτει στο κλάσμα 0,05-0,1 mm. Είναι η περίπτωση των συμπυκνωμάτων επιπλεύσεως τα οποία φρύνονται χωρίς καμία προπαρασκευή. Το μέταλλευμα μπαίνει μέσα στο θάλαμο με τη βοήθεια του αέρα που εισάγεται υπό πίεση εντός αυτού από το διάτρητο δάπεδο. Έτσι προκαλείται και η συνεχής ανάδευση του μεταλλεύματος και υπόκειται σε ένα είδος μηχανικής ρευστοποίησης μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η τέλεια επαφή αέρα και κόκκων. Τέλος χάρη σε αυτή τη ρευστοποίηση επιτυγχάνεται και η πλήρη ομοιογένεια του μίγματος και ο πλήρης έλεγχος μεταβολής της θερμοκρασίας.

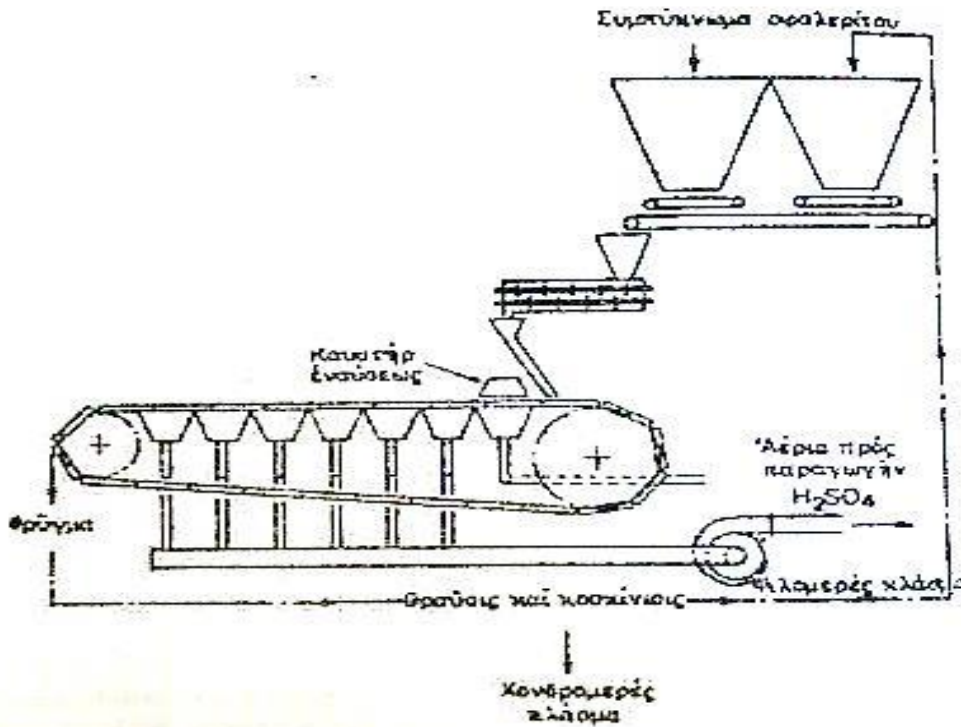


Εικ.12. – Γενική διάταξη εγκατάστασης αντιδραστήρα Fluosolids στην περίπτωση τροφοδοσίας του συμπυκνώματος σε μορφή στερεών σωματιδίων μέσα σε υγρό

Συσκευή Dwight – Lloyd.

Οι συγκεκριμένες συσκευές χρησιμοποιούνται για φρύξη συνοδευόμενη από συσσωμάτωση (**bandes d' agglomeration**). Η φρύξη σ αυτού του τύπου συσκευή γίνεται μέσω μιας κινητής σχάρας η οποία κινείται με τη βοήθεια ενός ατέρμονα κοχλία πάνω στην οποία στρώνεται κατάλληλα το προς φρύξη μετάλλευμα αφού έχει αναμιχθεί με τις κατάλληλες ποσότητες κάποιων ουσιών οι οποίες βοηθάνε στη διαδικασία της φρύξης και της συσσωμάτωση. Το μίγμα κινείται μαζί με τη σχάρα σε πάχος 20-30cm το οποίο επιτυγχάνεται με το κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας. Μέσα από αυτό το στρώμα έχουμε ροή αέρα η οποία προκαλείται από έναν ανεμιστήρα που είναι εγκατεστημένος στην εν λόγω συσκευή. Μια σχετική βελτίωση της συσκευής είναι η χρησιμοποίηση μιας λαμαρίνας πάνω στη σχάρα έτσι ώστε να μην έρχεται σε άμεση επαφή με τη ζώνη καύσεως και φθείρεται. Επίσης η συγκεκριμένη λαμαρίνα συγκρατεί και μέρος της παρασυρόμενης σκόνης.

Άλλο ένα πολύ θετικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης συσκευής είναι η πολύ καλή θερμική απόδοση η οποία οφείλεται στη χρησιμοποίηση προθερμασμένου αέρα , ενώ και τα ίδια τα καυσαέρια προθερμαίνουν το προς φρύξη μετάλλευμα. Τέλος θετικό στοιχείο επίσης αποτελεί η δυνατότητα της συσκευής να διαχωρίζει τα αέρια. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται μέσω ενός κιβωτίου χωρισμένου σε διαμερίσματα το οποίο καθιστά δυνατή την αποβολή των φτωχών και άχρηστων αερίων της έναυσης προς την ατμόσφαιρα και ανακύκλωση , προς εμπλουτισμό των αερίων του τήγματος που οδεύει προς εξαγωγή.



Εικ.13. – Συσκευή φρύξης συμπυκνώματος ψευδαργύρου (Dwight - Lloyd)

1.2.4 Μέθοδος τήξης

Η τήξη είναι η σημαντικότερη των πυρομεταλλουργικών κατεργασιών. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για την κατασκευή κραμάτων, την εξαγωγή μετάλλων και τον καθαρισμό αυτών κτλ.

Ανάλογα τον εκάστοτε αντιδράσεων μπορούμε να έχουμε απλή, οξειδωτική, ουδέτερη, ή αναγωγική τήξη. Η τήξη διεξάγεται σε διάφορων ειδών καμίνια αλλά ιδιαίτερης σημασίας είναι τα φρεατώδοι καμίνια αναγωγικής τήξης και τα έμφλογα καμίνια που χρησιμοποιούνται για τη λήψη matte και τα ηλεκτρικά για διάφορα είδη τήξης με σημαντικότερη αυτά της αναγωγικής.

1.2.4.1. Απλή τήξη – Ρευστοποίηση

Ως **απλή τήξη (fusion simple)** καλείται η τήξη όταν δεν συνοδεύεται από οποιαδήποτε αντίδραση. Τυπικό παράδειγμα είναι η τήξη καθαρού μετάλλου ή κράματος για την κατασκευή χυτών τεμαχίων το οποίο είναι και κυρίως χρησιμοποιούμενο πεδίο της απλής τήξης.

Ρευστοποίηση (liquation) καλείται η απλή τήξη κατά την οποία το συστατικό αποχωρίζεται από το μίγμα μέσα στο οποίο περιέχεται. Προαπαιτούμενο βεβαίως είναι να τήκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτήν των συστατικών που εμπεριέχονται στο μίγμα. Κατά αυτή τη διαδικασία δε λαμβάνει χώρα καμία αντίδραση. Κλασική περίπτωση ρευστοποίησης είναι ο εμπλουτισμός μεταλλεύματος αντιμονίου (Sb_2S_3). Μέσω της θέρμανσης του μεταλλεύματος σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των $548\text{ }^\circ\text{C}$ δηλαδή του σημείου τήξης της ένωσης του αντιμονίου αυτή ρευστοποιείται και αποχωρίζεται από το μέταλλευμα.

1.2.4.2. Οξειδωτική τήξη

Η οξειδωτική τήξη χαρακτηρίζεται από τις αντιδράσεις οξείδωσης που λαμβάνουν χώρα κατά την κατεργασία. Ως μέσα οξείδωσης χρησιμοποιούνται ο αέρας καθώς και μεταλλικά οξείδια κυρίως σιδήρου και σε σπάνιες περιπτώσεις γίνεται οξείδωση με χρήση υδρατμών και θεικών ή νιτρικών αλάτων.

Οξειδωτική τήξη μετάλλων.

Αυτή αποτελεί το σημαντικότερο πεδίο εφαρμογής της οξειδωτικής τήξης. Είναι ο τρόπος καθαρισμού των αργών μετάλλων από τα επιβλαβή στοιχεία για αυτό τα οποία μεταβάλλονται σε σκουριά. Τυπικό παράδειγμα αποτελεί η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα. Η σύσταση του χυτοσιδήρου περιέχει προσμίξεις C, Si, P κτλ τα οποία μέσω της κατάλληλης οξειδωτικής τήξης μετατρέπονται σε CO , SiO_2 , P_2O_5 και απομακρύνονται στην ατμόσφαιρα (CO) ή σε σκουριά (SiO_2 , P_2O_5) όπου συγκρατούνται υπό τη μορφή διάφορων ενώσεων.

Πυριτική και ημιπυριτική τήξη μεταλλευμάτων.

Μια αρκετά σπάνια περίπτωση οξειδωτικής τήξης εφαρμόζεται επίσης στα μεταλλεύματα για την εξαγωγή των περιεχομένων μετάλλων. Η λεγόμενη πυριτική (fusion pyritique) και ημιπυριτική τήξη (fusion semi - pyritique) η οποία διαχωρίζεται ανάλογα με το βαθμό οξείδωσης.

Κλασικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι η τήξη εντός φρεατώδους καμινιού χονδρομερούς μεταλλεύματος χαλκούχου σιδηροπιρίτη για την παρασκευή matte. Αν στο μέταλλευμα προσθέσουμε περιορισμένη ποσότητα κωκ της τάξης του 3% και κατά τη διεργασία της τήξης έχουμε περίσσεια αέρα σε σχέση με το σύνολο του

καυσίμου (άνθρακας και θείο) τότε έχουμε έντονη οξειδωτική αντίδραση η οποία καλείται πυριτική. Όταν οι συνθήκες της τήξης είναι τέτοιες που προκαλείται ημιπυριτική τήξη τότε προσθέτουμε μεγαλύτερο ποσοστό κοκ της τάξης του 7-8% και ρυθμίζουμε κατάλληλα την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα.

1.2.4.3 Ουδέτερη τήξη

Ουδέτερη χαρακτηρίζεται η διαδικασία της τήξης κατά την οποία συνυπάρχουν οξειδωτική και αναγωγική αντίδραση.

Παράδειγμα ουδέτερης τήξης είναι η τήξη που διενεργείται για την λήψη matte των θειούχων συμπυκνωμάτων, χαλκού και νικελίου της περιοχής Sudbury του Καναδά. Η Falconbridge Nickel Mines κατεργάζεται τα συμπυκνώματα αυτά και με προσθήκες κατάλληλων συλλιπασμάτων και το ποσοστό του κοκ να φτάνει το 10% περίπου, το μίγμα υποβάλλεται σε τήξη κάτω από συνθήκες αναγωγικές και οξειδωτικές. Μέσω αυτής της τήξης προκύπτει matte χαλκού και νικελίου. ($n\text{FeS}$, $m\text{Cu}_2\text{S}$, NiS)

1.2.4.4. Αναγωγική τήξη

Η αναγωγική τήξη χαρακτηρίζεται ως η σπουδαιότερη μέθοδος για την εξαγωγική μεταλλουργεία. Μέσω αυτής εξάγονται τα μέταλλα από τα οξείδια και σπανιότερα από θειούχες ή άλλες ενώσεις. Το μέταλλευμα τήκεται εντός κατάλληλης θερμικής συσκευής μέσα στην οποία τελικά διαχωρίζεται η μεταλλική φάση από την προκύπτουσα σκουριά λόγω της οξείδωσης.

Ως αναγωγικά μέσα χρησιμοποιούνται ο στερεός άνθρακας (C) και το μονοξειδίο του άνθρακα και σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση ορισμένων μετάλλων (Al, Mg, Fe, κτλ) ή αμετάλλων (Si, P, S, H₂) και σπανιότερα διάφοροι υδρογονάνθρακες ή κυάνιο (Cn)

Βεβαίως κατά την αναγωγική τήξη επικρατούν αναγωγικές αντιδράσεις την οποία διακρίνουν ανάλογα με την ένταση τους σε **ελαφρώς**, **μέτρια**, **λίαν**, και **έντονη αναγωγική τήξη**.

Ελαφρώς αναγωγική τήξη.

Αυτός ο τύπος τήξης διενεργείται σε χαμηλά επίπεδα θερμοκρασίας προσαγόμενου αέρα χωρίς προθέρμανση και μας δίνει σκουριά υψηλής περιεκτικότητας σε FeO (30-40%) και καυσαέρια χαμηλής περιεκτικότητας σε CO (10-20%)

Παράδειγμα της παραπάνω τήξης αποτελεί η κατεργασία μεταλλεύματος μολύβδου σε φρεατώδη κάμινο το οποίο προέρχεται από συμπύκνωμα γαληνίτη (PbS) , που υπόκειται σε οξειδωτική φρύξη με συσσωμάτωση και περιέχει 40-50% Pb , 3-5% Zn , και αναμιγνύεται με 10-13% κωκ.

Μέτρια αναγωγική τήξη.

Κατά τη μέτρια αναγωγική τήξη η θερμοκρασία του προσαγόμενου αέρα είναι μεγαλύτερη και είναι προθερμασμένος στους 300 – 350 °C , η σκουριά που λαμβάνουμε FeO είναι (10-20%) και τα αέρια έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε CO (15-25%).

Η μέτρια αναγωγική τήξη διενεργείται για την εξαγωγή μετάλλων τα οποία από άποψη συγγένειας με το οξυγόνο τοποθετούνται μεταξύ μολύβδου χαλκού και σιδήρου.

Λίαν αναγωγική τήξη.

Κατά τη λίαν αναγωγική τήξη έχουμε ακόμα μεγαλύτερη προθέρμανση του εισαγόμενου -αέρα (700-900°C). Χαρακτηριστικό αυτής της διεργασίας είναι η σημαντική αύξηση της αναλογίας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου , μείωση της περιεκτικότητας σε σκουριά FeO (1-2%) και αύξηση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε CO (20-35%). Λόγο του ότι η σκουριά σ αυτή τη περίπτωση είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα είναι αρκετά εύκολη η απομάκρυνσή της με αποτέλεσμα την λήψη ενανθρακωμένου μετάλλου.

Έντονη αναγωγική τήξη.

Κατά την έντονη αναγωγική τήξη έχουμε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες διεργασίας και πολύ μεγαλύτερες καταναλώσεις καυσίμου. Η σκουριά κυμαίνεται σε πάρα πολύ χαμηλά επίπεδα και τα καυσαέρια αποτελούνται σχεδόν μόνο από καθαρό CO.

Η εφαρμογή αυτή συνιστάται για την παραγωγή διαφόρων κραμάτων όπως του σιδηροχρωμίου (FeCr) , του σιδηροπυριτίου (FeSi) , του σιδηρομαγγανίου (FeMn) κτλ.

Κάμινοι και συσκευές τήξεως.

Η κατεργασία της τήξης διεξάγεται σε καμίνια φρεατώδοι , έμφλογα , ή ηλεκτρικά. Σε εξαιρετικές περιπτώσει χρησιμοποιούνται περιστροφικοί κλίβανοι. Αναφορά στις παραπάνω συσκευές θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

1.2.5. Μέθοδος απόσταξης – εξάχνωσης

Ως απόσταξη (distillation) χαρακτηρίζεται η πυρομεταλλουργική κατεργασία κατά την οποία το μέταλλευμα μεταβαίνει σε αέρια φάση και μετέπειτα συλλέγεται ως υγρό υπό τη μορφή συμπυκνώματος.

Εξάχνωση (sublimation) έχουμε στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία το μέταλλο συλλέγεται σε στερεά φάση κατ' ευθείαν από αέρια..

Βάση της απόσταξης και της εξάχνωσης αποτελεί η εξάτμιση. Οι δυο προαναφερθήσασες μέθοδοι για την εξαγωγή μετάλλου εφαρμόζονται για την λήψη μετάλλων υπο τη στοιχειώδη μορφή μεταλλικών ενώσεων. Αυτές οι διεργασίες μπορεί να συνοδεύονται ή όχι από χημικές αντιδράσεις εντός κατάλληλων συσκευών.

Απόσταξη ή εξάχνωση χωρίς χημική αντίδραση

Η ουσία που θέλουμε να αποστάξουμε ή να εξαχνώσουμε βρίσκεται ελεύθερη μέσα στο μέταλλευμα ή ελευθερώνεται μετά από τη διάσπαση της ένωσης στην οποία συμμετέχει. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται καθώς θερμαίνεται το μέταλλευμά μας.

Τάση ατμού και ταχύτητα απόσταξης ή εξαχνωσης.

Η ένταση της εξάτμισης μετριέται υπό την πίεση ή την τάση του ατμού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Μπορούμε να μελετήσουμε την εξάτμιση ως μια θερμοδυναμική μεταβολή με την παρακάτω σχέση ισορροπίας:

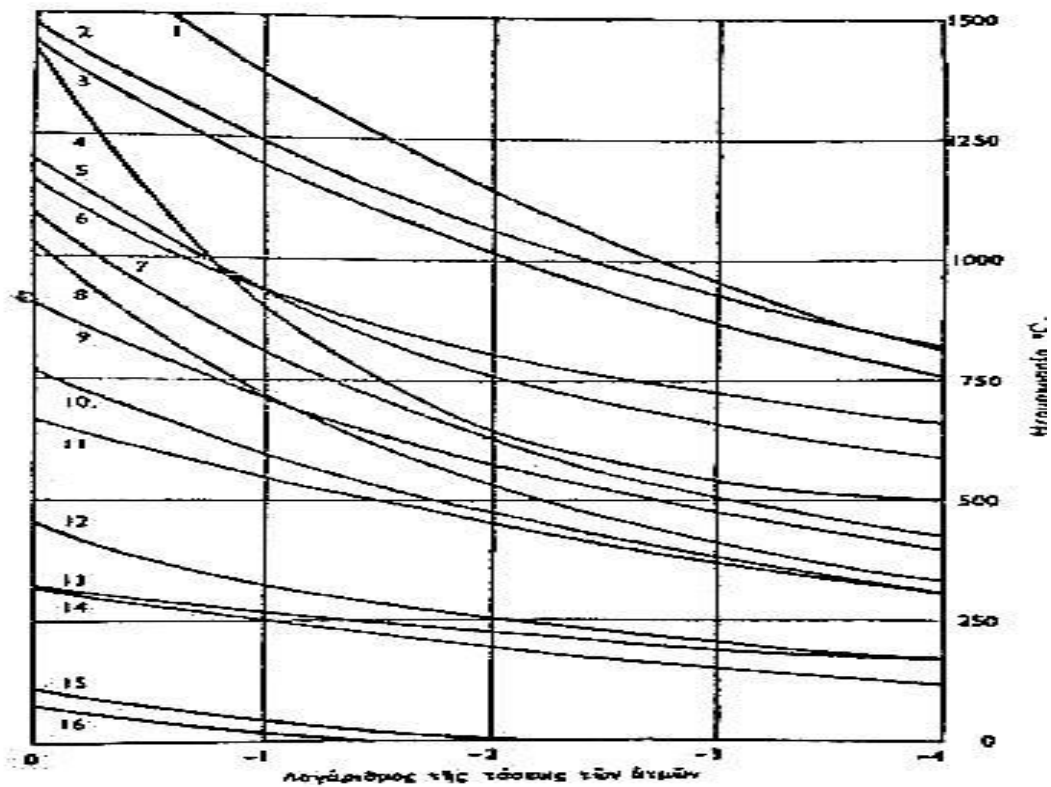
$$(M) = M$$

Από την οποία προκύπτει ότι

$$\Delta G_{\tau}^{\circ} = \Delta H_{\tau}^{\circ} - T\Delta S_{\tau}^{\circ} = -4.575 T \log p_M$$

$$\log p_M = -\Delta H_{\tau}^{\circ} / 4.575 T + T\Delta S_{\tau}^{\circ} / 4.575$$

Όπου ΔH_{τ}° και ΔS_{τ}° οι τιμές της ενθαλπίας και εντροπίας της μεταβολής, δηλαδή της εξάτμισης στη θερμοκρασία T .



Εικ.14. – Τάσεις ατμού μετάλλων και ενώσεων

1. Pb – 2. PbO – 3. Sb – 4. Sb₄O₆ – 5. MnCl₂ – 6. MoO₃ – 7. Te – 8. FeCl₃ – 9. Zn –
10. Cd – 11. As – 12. As₄O₆ – 13. FeCl₃ – 14. SeO₃ – 15. SnCl₄ – 16. GeCl₄

Η παραπάνω καμπύλη μας δίνει την τάση ατμού διάφορων ουσιών συναρτήσει της θερμοκρασίας. Σε κάθε θερμοκρασία άνω του μηδενός η ουσία μας έχει τάση προς εξάτμιση. Από αυτό καταλαβαίνουμε πως ακόμα και σε στερεά κατάσταση η ουσία εξατμίζεται συνεχώς και ως θεωρείται η εξάτμιση αυτή αμελητέα επειδή η θερμοκρασία είναι χαμηλή.

Παρ' όλα αυτά η εξάτμιση είναι συνεχής και η ταχύτητα αυτής αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η θερμοκρασία. Όταν φτάσουμε σε θερμοκρασία τέτοια όπου η πίεση του ατμού είναι ίδια με την εξωτερική πίεση τότε θα έχουμε υγρή κατάσταση και κατά συνέπεια βρασμό και η ταχύτητα της εξάτμισης αυξάνεται αρκετά εάν και εφόσον απάγονται οι ατμοί.

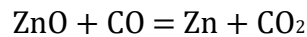
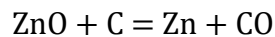
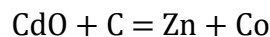
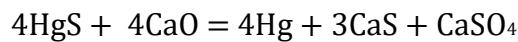
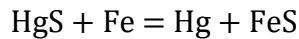
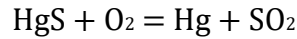
Για να λάβει χώρα αυτή η διαδικασία χωρίς τη παρουσία χημικής αντίδρασης θα πρέπει η ουσία – το μέταλλο να παραμείνει αμετάβλητο κατά τη διαδικασία. Πράγμα που σημαίνει πως ή το μέταλλο θα πρέπει να μην οξειδωθεί κατά τη θέρμανση ή το οξείδιο του να διασπάται σε θερμοκρασία κατώτερη της διεργασίας της εξάχνωσης ή απόσταξης.

Παράδειγμα της παραπάνω διαδικασίας μπορεί να αποτελέσει η περίπτωση του αυτοφυούς υδραργύρου. Η θερμοκρασία βρασμού του εν λόγω μετάλλου είναι οι 357 °C και η διάσπαση του οξειδίου του (HgO) γίνεται στους 400 °C. Θερμαίνοντας λοιπόν το μετάλλευμα για την εξαγωγή του μετάλλου πάνω από τους 400°C πετυχαίνουμε τον αποχωρισμό τους με τη μέθοδο της απόσταξης. Έπειτα η συλλογή του καθαρού υδραργύρου από το στείρο μέρος του μεταλλεύματος δηλαδή από της ενώσεις (Au , Ag , Zn , Pb , Sn) αποτελεί σημαντικό πεδίο εφαρμογής της απόσταξης χωρίς χημική αντίδραση . Το αμάλγαμα (κράμα με κύριο συστατικό τον υδράργυρο) M_xHg θερμαίνεται για να επιτευχθεί η εξάτμιση του υδραργύρου ο οποίος συμπυκνώνεται και ανακτάται σε στερεά κατάσταση.

Απόσταξη ή εξάχνωση με την παρουσία χημικής αντίδρασης.

Υπάρχουν και περιπτώσεις εξάτμισης του μετάλλου αφού έχει προηγηθεί ο διαχωρισμός του από το στείρο μέρος του μεταλλεύματος μέσω κάποιας χημικής αντίδρασης. Η θερμοκρασία στην οποία γίνεται αυτή η χημική αντίδραση είναι υψηλότερη της θερμοκρασίας του σημείου ζέσης του μετάλλου έτσι ώστε το μέταλλο να απάγεται σε κατάσταση ατμού. Παράδειγμα αποτελούν οι περιπτώσεις του

υδραργύρου , του καδμίου , του ψευδαργύρου , των οποίων τα σημεία βρασμού είναι 357 , 765 , 907 °C αντίστοιχα. Τα μέταλλα αυτά αποχωρίζονται από τις θειούχες ενώσεις ή τα οξειδία τους και απάγονται σε μορφή ατμού μέσω των παρακάτω αντιδράσεων:



Οι παραπάνω αντιδράσεις είναι απαραίτητο να διεξάγονται σε θερμοκρασίες υψηλότερες του σημείου βρασμού του αντίστοιχου μετάλλου.

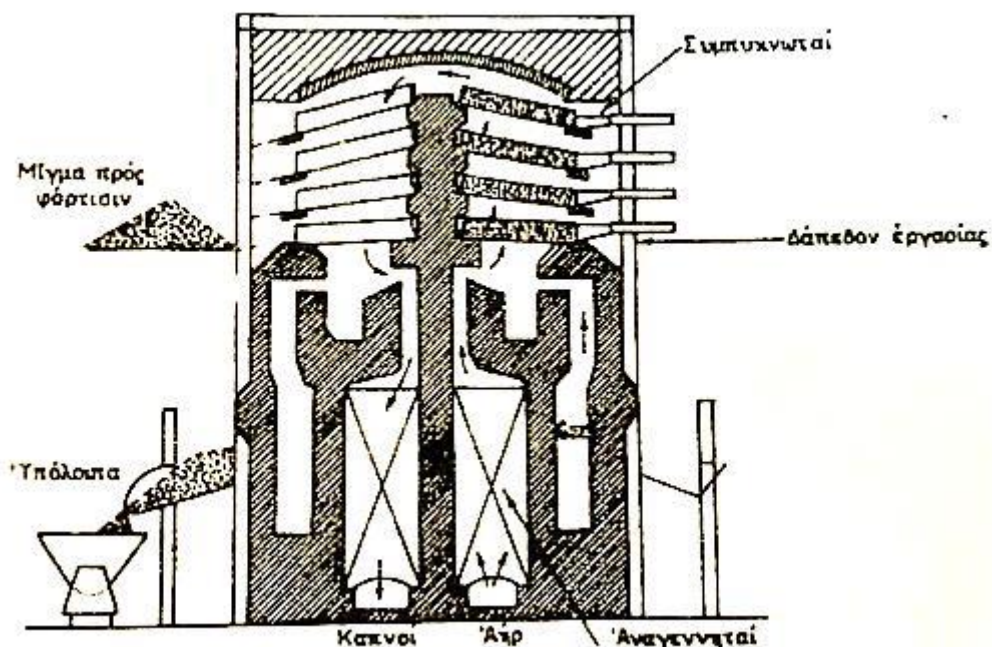
1.2.5.1. Κάμινοι απόσταξης και εξάχνωσης

Οι κυριότεροι τύποι καμινιών για απόσταξη και εξάχνωση είναι τα αποστακτικά κέρατα , οι περιστροφικοί κλίβανοι και τα φρεατώδοι και ηλεκτρικά καμίνια.

Αποστακτικά κέρατα (retorts)

Είναι πυρίμαχα χωνευτήρια τα οποία θερμαίνονται εξωτερικά και έχουν μικρές διαστάσεις. Διακρίνονται σε **κάθετα** και **οριζόντια**. Τα οριζόντια έχουν ελλειπτική διατομή 150-200mm και έχουν μήκος ως τα 180 cm και στο άκρο τους είναι εγκατεστημένος ένας συμπυκνωτής από τον οποίο συλλέγεται ο ψευδάργυρος. Το συγκεκριμένο καμίνι φέρει μεγάλο αριθμό κεράτων και χρησιμοποιεί αέριο καύσιμο για τη θέρμανση του μεταλλεύματος. Επίσης γίνεται και προθέρμανση του αέρα

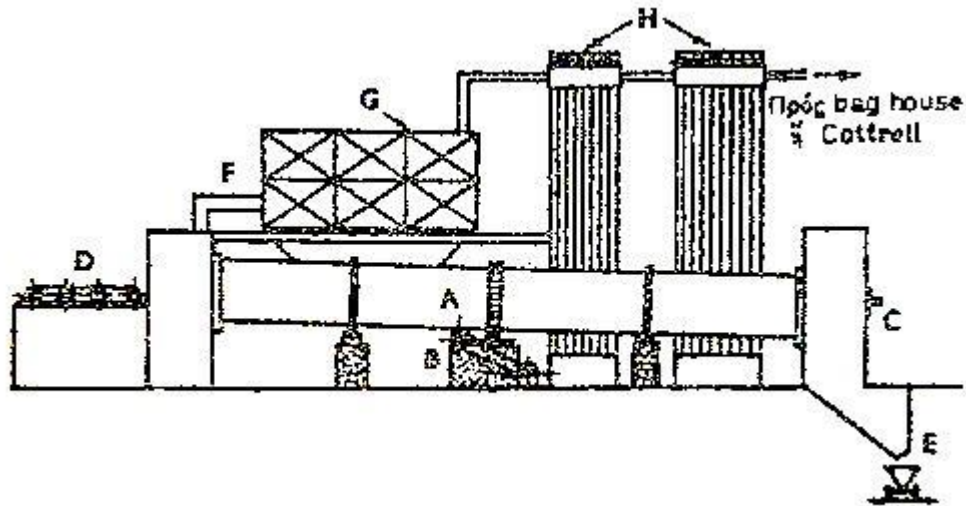
καύσης ενίοτε και του αερίου προς καύση και η λειτουργία αυτή είναι ασυνεχής και αυτό αποτελεί το μειονέκτημα του καμινιού.



Εικ.15. – Καμίνη απόσταξης οριζόντιων κεράτων

Περιστροφικοί κλίβανοι.

Πρόκειται για τον κλίβανο Walz ο οποίος χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία του ψευδαργύρου για την εξαγωγή του μετάλλου από τη σκουριά.

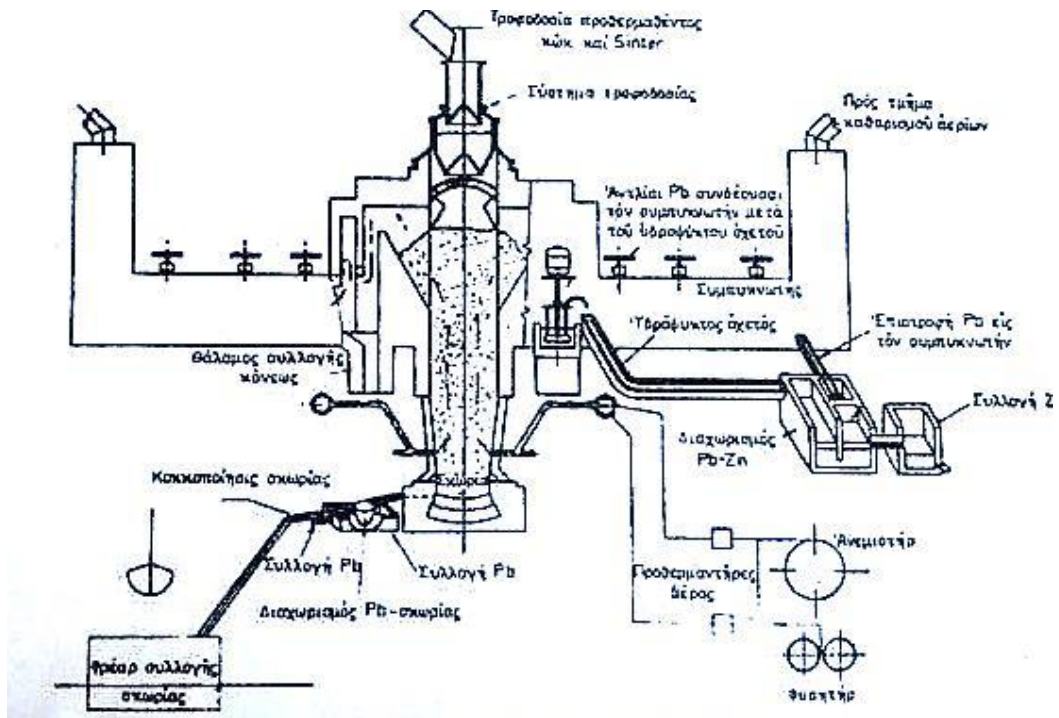


Εικ.16. – Γενική διάταξη εγκατάστασης περιστροφικού κλιβάνου αποστάξεως Walz

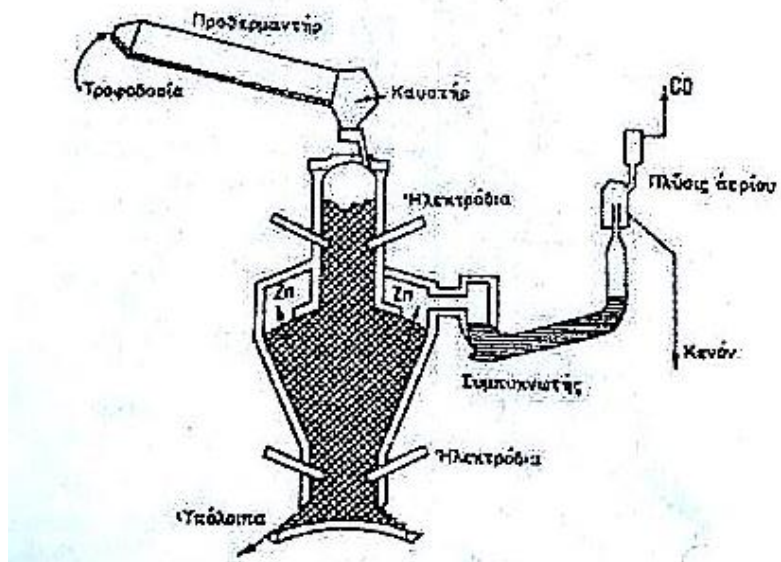
A. Κλιβανος – B. Σύστημα κινήσεως – C. Καυστήρας – D. Τροφοδότης. – E. Εξοδος της σκουριάς – F. Εξοδος καυσαερίων – G. Θάλαμος συλλογής σκόνης – H. Πύργοι ψύξης των αερίων

Φρεατώδης κάμινος.

Σ αυτή τη κατηγορία καμινιών έχουμε τον St. Joseph °C και τον Imperial Smelting process. Η πρώτη θερμαίνεται ηλεκτρικά με αντίσταση η οποία βρίσκεται μέσα στο μίγμα συσσωματωμένου φρύγματος ψευδαργύρου και κωκ. Το δεύτερο κατεργάζεται φρύγματα ψευδαργύρου και μολύβδου. Ο μολύβδος απάγεται σε ρευστή κατάσταση στο χώρο του χωνευτηρίου και ο ψευδάργυρος στο χώρο του συμπυκνωτή και έτσι μ αυτό τον τρόπο δε χρειάζεται περεταίρω επεξεργασία για το διαχωρισμό αυτών.



Εικ.17. – Φρεατώδη κάμινος Imperial smelting process



Εικ.18. – Ηλεκτροθερμικό καμίνι St . Joseph

Ηλεκτρικά καμίνια.

Αυτός ο τύπος καμινιών χρησιμοποιείται για την εξάτμιση μεταλλεύματος που περιέχει ψευδάργυρο , μόλυβδο και κάδμιο. Αυτά τα στοιχεία εξατμίζονται ταυτόχρονα και συμπυκνώνονται και διαχωρίζονται μέσω της ρευστοποίησης και προκύπτει αργυρούχος μόλυβδος και ψευδάργυρος.

Κεφάλαιο 2^ο

Μεταλλουργικά καμίνια και προβλήματα αυτών

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι πυρομεταλλουργικές κατεργασίες διεξάγονται σε κατάλληλες θερμικές συσκευές που ονομάζονται μεταλλουργικά καμίνια. Παρακάτω θα μελετηθούν με μια γενικότερη επισκόπηση και ταξινόμηση αυτών και θα επισημανθούν ορισμένα προβλήματα που υπάρχουν κατά τη λειτουργία τους όσο αφορά τη θέρμανση την απαγωγή της σκόνης από τα καυσαερίά τους και την ανάκτηση της αισθητής θερμότητας αυτών.

2.1. Τύποι μεταλλουργικών καμινιών

Τα μεταλλουργικά καμίνια χωρίζονται στους παρακάτω τρεις τύπους:

Καμίνια χωνευτηρίου (crucible furnaces)

Καμίνια θερμαινόμενα με ακτινοβολία (hearth furnaces)

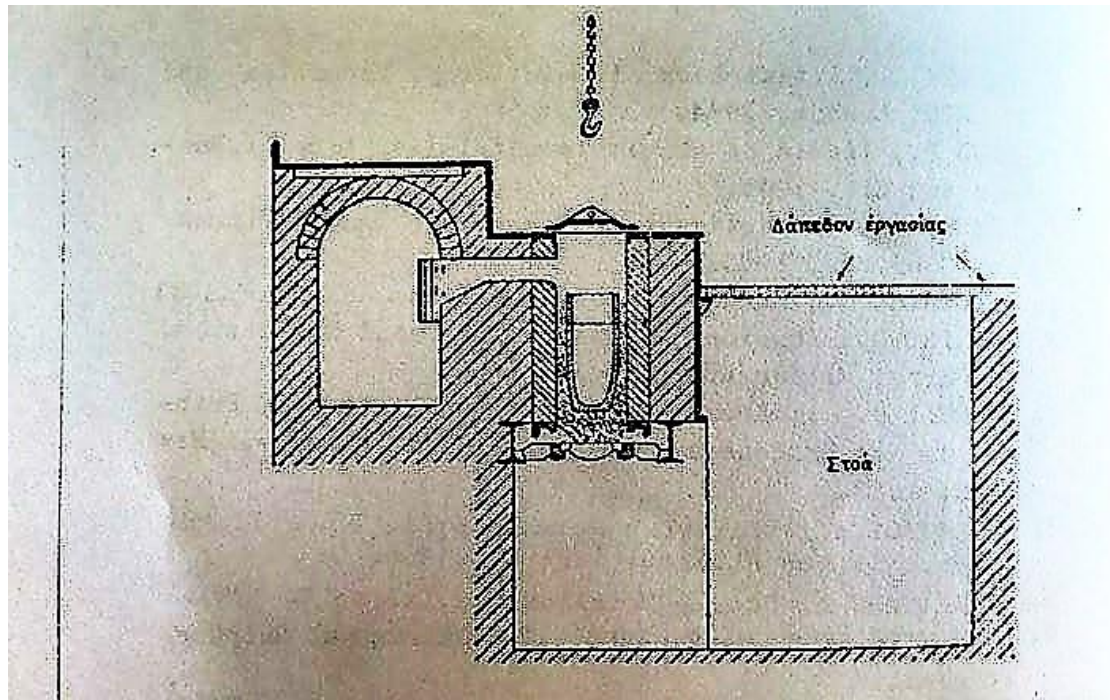
Φρεατώδη καμίνια (shaft furnaces)

2.1.1. Καμίνια χωνευτηρίου

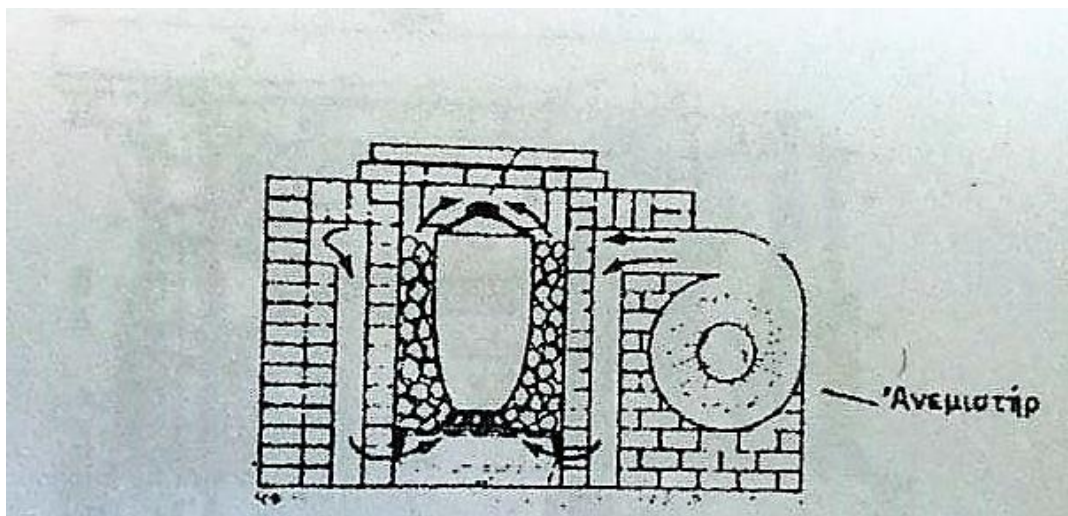
Σ' αυτή την περίπτωση το μέταλλευμα τήκεται εντός πυρίμαχου ή μεταλλικού χωνευτηρίου το οποίο αποτελεί και το κύριο χαρακτηριστικό του καμινιού. Χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις χύτευσης με απλές τήξεις μετάλλων ή κραμάτων. Διακρίνονται σε καμίνια φορητού χωνευτηρίου , καμίνια περιστρεφόμενου χωνευτηρίου και καμίνια επαγωγής.

2.1.1.1. Καμίνια φορητού χωνευτηρίου

Πρόκειται για απλές κατασκευές που διαθέτουν φορητό χωνευτήριο το οποίο περιβάλλεται από κωκ το οποίο το φέρει μια σχάρα. Οι συνθήκες θέρμανσης είναι δυσμενείς διότι η θερμότητα μεταδίδεται προς το μέταλλευμα κυρίως με μεταφορά. Μετά το πέρας της τήξης το χωνευτήριο αποσύρεται χειροκίνητα και μεταφέρεται για την απόχυση του μετάλλου. Για τους παραπάνω λόγους η δυναμικότητα παραγωγής του χωνευτηρίου είναι αρκετά περιορισμένη και δεν υπερβαίνει τα 100kg.



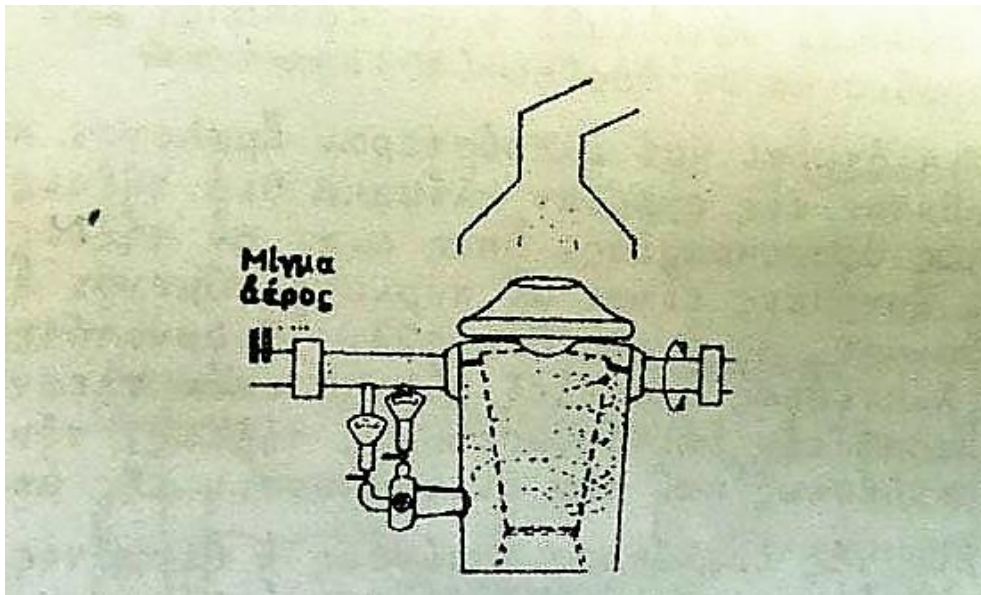
Εικ. 1. Κάμινος φορητού χωνευτηρίου με φυσικό ελκυσμό.



Εικ. 2 Κάμινος φορητού χωνευτηρίου με τεχνητό ελκυσμό.

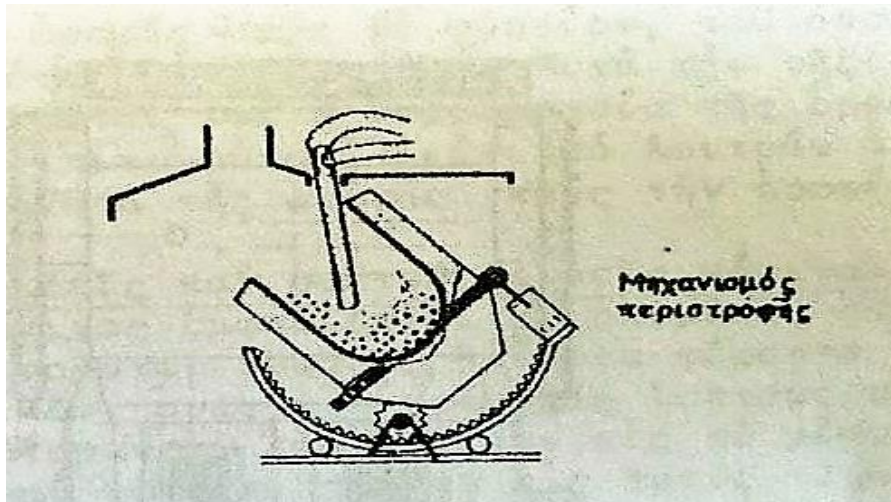
2.1.1.2. Καμίνια περιστρεφόμενου χωνευτηρίου.

Για την καλύτερη κατανομή της θερμότητας και της ευχέρειας της αποχύσεως το χωνευτήριο ενσωματώνεται εντός χαλύβδινου περιβλήματος που φέρει σύστημα περιστροφής και κατάκλισης. Στα καμίνια αυτά η θέρμανση γίνεται μέσω αερίου ή πετρελαίου η οποία λαμβάνει χώρα εξωτερικά ή εσωτερικά κατ' ευθείαν πάνω στο μέταλλωμα. Λόγω των παραπάνω η τήξη γίνεται σε πολύ χαμηλότερο χρόνο και δεν υπάρχουν προβλήματα αποχύσεως του μετάλλου. Έτσι η δυναμικότητα παραγωγής του καμινιού αυξάνεται στα 5000kg δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτή του φορητού χωνευτηρίου.



Εικ. 3. Κάμινος περιστρεφόμενου χωνευτηρίου.

Εξωτερική θέρμανση μέσω αερίου ή πετρελαίου

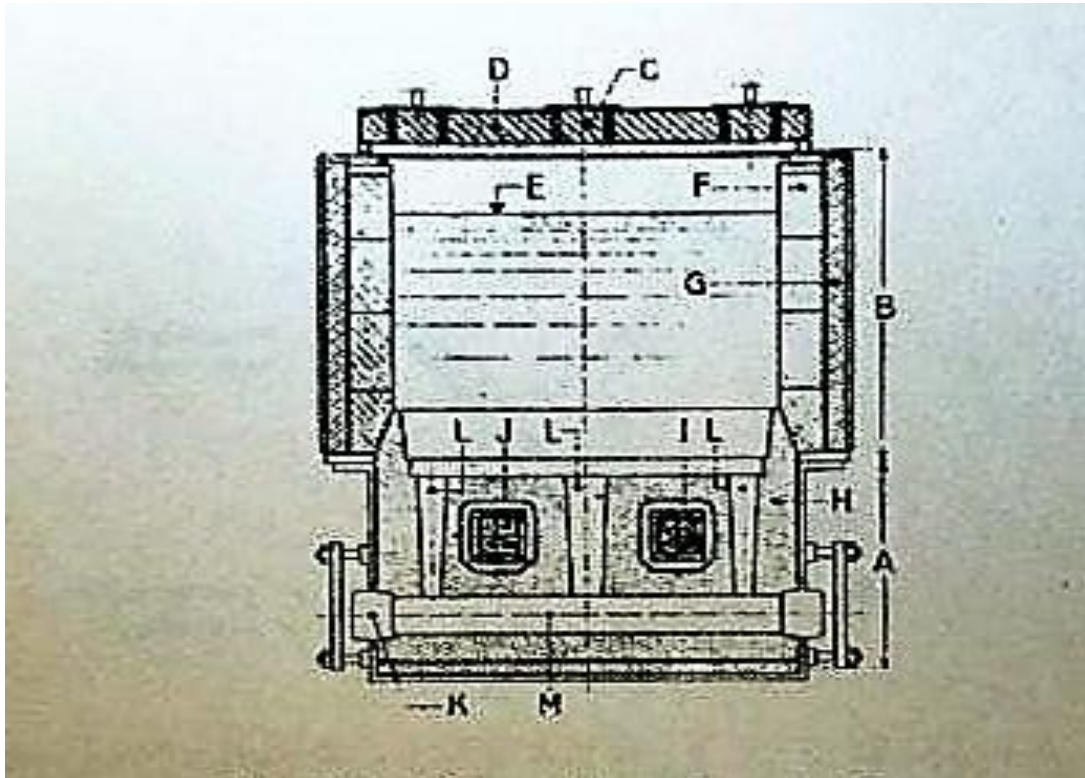


Εικ. 4. Κάμινος περιστρεφόμενου χωνευτηρίου.

Εσωτερική θέρμανση μέσω αερίου ή πετρελαίου

2.1.1.3. Επαγωγικά καμίνια

Είναι ανάλογης κατασκευής με αυτά του περιστρεφόμενου χωνευτηρίου τα οποία όμως διαφέρουν ως προς τον τρόπο θέρμανσης. Σ αυτού του τύπου καμινιών η θερμότητα παράγεται μέσω επαγωγικών ρευμάτων. Η τήξη επιτυγχάνεται σε πάρα πολύ μικρό χρόνο υπό οποιονδήποτε συνθηκών. Επίσης τα συγκεκριμένα καμίνια αποτελούν τη βάση των καμινιών τήξεως κενού. Κατά τα τελευταία χρόνια η δυναμικότητα παραγωγής τους έχει ανέλθει στα 30.000kg.



Εικ. 5.Κάμινος επαγωγής με αυλάκια

A. Κάτω τμήμα (διαμόρφωση αυλακιού) B. Άνω τμήμα του φρέατος

C. Θύρα εισόδου (προς καθαρισμό των αυλάκων) D. Πώμη

E. Επιφάνεια του λουτρού F. Πυρίμαχη επένδυση

G. Επένδυση θερμικής μόνωσης H. Πυρίμαχο μίγμα

I. Επαγωγικό πηνίο J. Μαγνητικό κύκλωμα

K. Πώμα οπής αποκένωσης L. Κάθετα αυλάκια

M. κατώτερα αυλάκια

2.1.2. Καμίνια θερμαινόμενα με ακτινοβολία

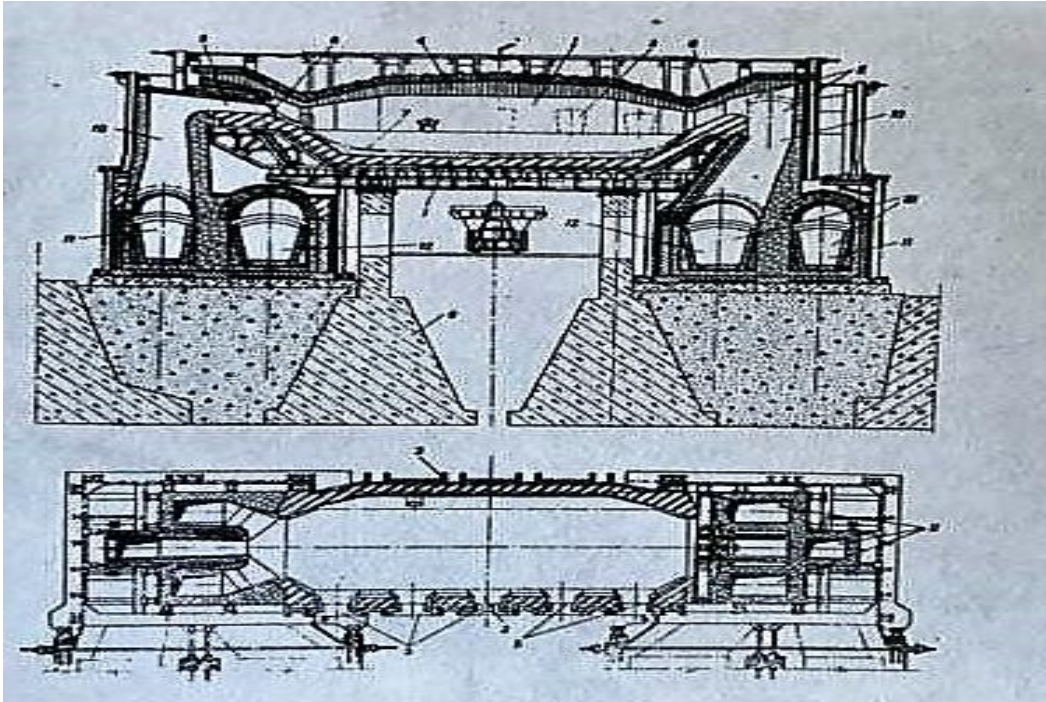
Βασικό χαρακτηριστικό αυτών αποτελεί ο τρόπος θέρμανσης του υλικού το οποίο τοποθετείται πάνω σε δάπεδο (hearth) σε στρώμα μικρού πάχους και θερμαίνεται με ακτινοβολία που προέρχεται από πηγές που βρίσκονται πάνω από το δάπεδο. Αυτά τα καμίνια χρησιμοποιούνται στις μεθόδους τήξης, φρύξης κτλ. Τύποι καμινιών με ακτινοβολία είναι τα έμφλογα καμίνια (open hearth furnaces), οι περιστροφικοί κλίβανοι (rotary Kilns), τα συραγγοειδή και δακτυλιοειδή καμίνια (tunnel kiln & circular moving hearth furnaces), τα καμίνια πολλαπλών δαπέδων και τέλος τα καμίνια βολταϊκού τόξου.

2.1.2.1. Έμφλογα καμίνια

Η θέρμανση εφαρμόζεται εναλλάξ στα δυο άκρα του καμινιού και η αισθητή θερμοκρασία των καυσαερίων ανακυκλώνεται και χρησιμοποιείται για τη προθέρμανση του εισαγόμενου αέρα προς καύση. Χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δυο συσκευές ανακύκλωσης καυσαερίων και μπορούν να γίνουν και τέσσερις στη περίπτωση που το καύσιμο είναι αέριο.

Μικρότερα και απλούστερα καμίνια χρησιμοποιούνται για σε μεγάλη κλίμακα για την τήξη κραμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες και συνήθως είναι πεεριστρεφόμενα ή κινούμενα. Η δυνατότητα περιστροφής τους ή της κίνησης τους αποτελεί ουσιαστικό πλεονέκτημα τους σε ότι αφορά την επιτάχυνση της τήξης τη προστασία της επένδυσης και τη διευκόλυνση της απόχυσης του τηγμένου μετάλλου.

Στα έμφλογα καμίνια η θερμότητα μεταδίδεται κυρίως με ακτινοβολία αφού η θέρμανση επιτυγχάνεται με φλόγα. Μέρος της θερμότητας μεταδίδεται με μεταφορά με την προϋπόθεση ότι η φλόγες έρχονται σε επαφή με το μέταλλευμα προς τήξη. Ανταλλαγή θερμότητας έχουμε επίσης μεταξύ φορτίου και οροφής. Πριν τη τήξη του φορτίου μεγάλα ποσά θερμότητας μεταδίδονται από την οροφή σ' αυτό όπου εκείνη τη στιγμή η δυνατότητα απορροφησης του είναι μεγάλη. Μετά την τήξη όμως είναι κατά πολύ μικρότερη με αποτέλεσμα να αντανακλάται όλη η θερμότητα που προέρχεται από τις φλόγες προς την οροφή πράγμα που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα του εν λόγω καμινιού.



Εικ. 6. Γενική μορφή έμφλογου καμινιού σιδηρομεταλλουργίας.

Κάμινι Siemens – Martin. Θέρμανση με χρήση αερίων. I. Θάλαμος καμινιού.

II. Αγωγοί III. Θάλαμος σκουριάς. 1. Πυθμένας. 2. Μπροστινή πλευρά.

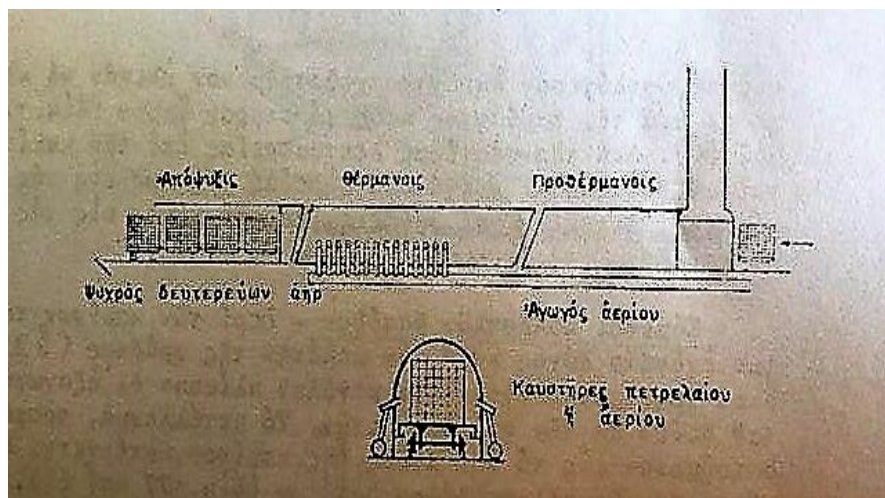
4. Οροφή. 5. Θύρα φορτίσεως. 6. Βάση από μπετό. 7. Διαμόρφωση κλίσεως.

8. Θύρα αέρα. 9. Θύρα αερίου. 10. Κάθετοι αγωγοί. 11, 12 Θάλαμοι σκουριάς.

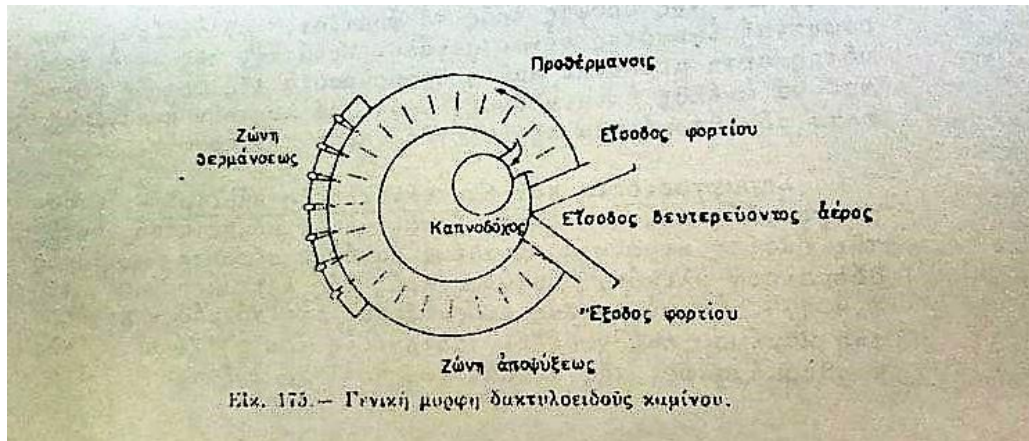
2.1.2.2. Συραγγοειδή και δακτυλοειδή καμίνια

Η συραγγοειδής κάμινος έχει τη μορφή επιμηκής στοάς μέσα στην οποία κινούνται βαγόνια που φέρουν το προς θέρμανση υλικό. Η θέρμανση λαμβάνει χώρα στο μέσο του καμινιού και χωρίζεται σε τρεις ζώνες. Της προθέρμανσης, της θέρμανσης και της ψύξης.

Στα δακτυλοειδή καμίνια χρησιμοποιούνται εγκαταστάσεις για την εξέλαση των προς τήξη πλινθωμάτων και η ζώνη θέρμανσης εκτείνεται μέχρι την έξοδο που σημαίνει ότι καταργείται η ζώνη ψύξης.



Εικ. 7. Γενική μορφή συραγγοειδούς καμίνου



Εικ. 8. Γενική μορφή δακτυλιοειδούς καμίνου

2.1.2.3. Περιστροφικοί κλίβανοι

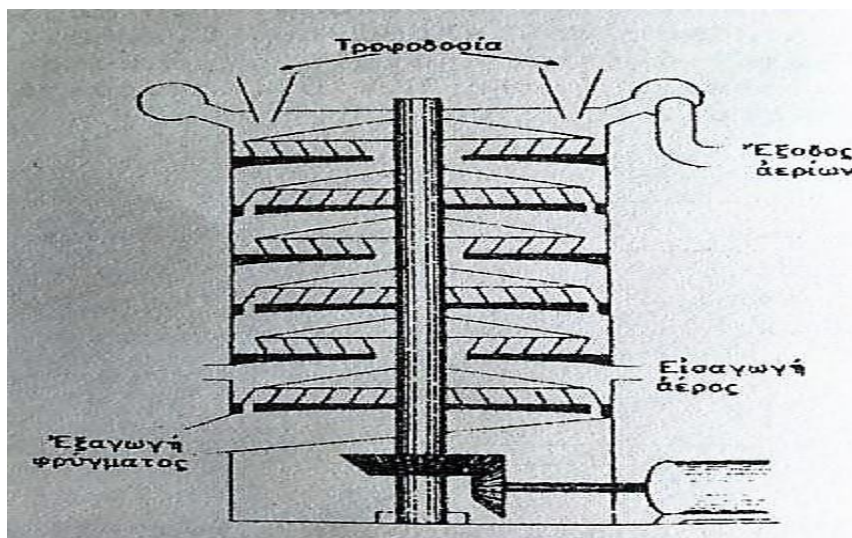
Πρόκειται για περιστροφικά τύμπανα σωληνοειδούς μορφής με τιμή λόγου: *μήκος/διάμετρο μεγάλη*. Το τύμπανο εγκαθίσταται με μια ελαφρά κλίση ως προς τον οριζόντιο άξονα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το υλικό να μεταφέρεται από το ένα άκρο του σωλήνα στο άλλο με τη βοήθεια της βαρύτητας.



Εικ.9. Περιστροφικός κλίβανος

2.1.2.4. Καμίνια πολλαπλών δαπέδων

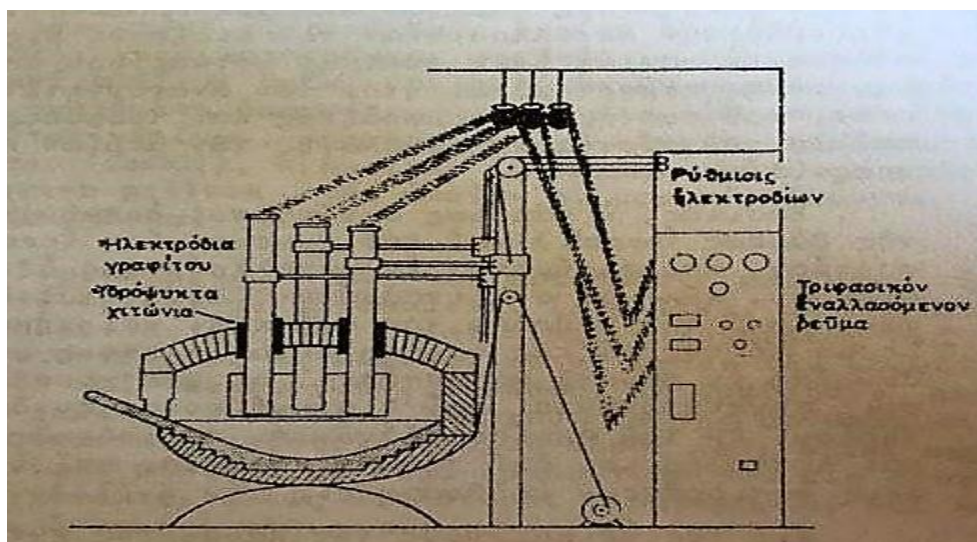
Το μέταλλευμα ποτ θέλουμε να κατεργαστούμε εισέρχεται στην κάμινο από την κορυφή και ακολουθεί κατεύθυνση αντίθετη με αυτή των θερμών αερίων και στα διαδοχικά στρώματα του καμινιού υπάρχει στρωμένο μέταλλευμα σε πάχος 5-10 εκ. το οποίο αναδεύεται συνεχώς με τη βοήθεια περιστρεφόμενων βραχιόνων. Η φρύξη λαμβάνει χώρα πάνω στην επιφάνεια του μεταλλεύματος το οποίο οδηγείται εναλλάξ προς το κέντρο και την περιφέρεια των κυκλικών δαπέδων. Κατά την κατεργασία το μέταλλευμα κατέρχεται ενώ τα αέρια ακολουθούν αντίθετη κατεύθυνση πράγμα το οποίο διευκολύνει την καλή ανάκτηση της θερμότητας. Μετά από την έξοδο τα αέρια διέρχονται από την εγκατάσταση Cottrel για το πλήρη διαχωρισμό τους από σκόνες.



Εικ.10. Κάμινος πολλαπλών δαπέδων τύπου Herreshof

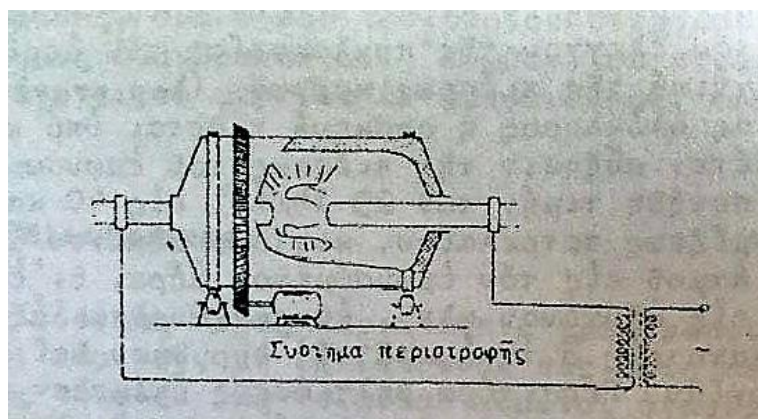
2.1.2.5. Καμίνια βολταϊκού τόξου

Τύπος Heroult : Χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών κατακόρυφων ηλεκτροδίων στα άκρα των οποίων είναι εγκατεστημένα ισάριθμα τόξα επί της επιφάνειας του φορτίου. Το μέταλλευμα εισέρχεται στη κάμινο μέσω ενός ανοίγματος που υπάρχει στο θόλο της το οποίο κλείνει κατά την απόχυση του μετάλλου και της σκουριάς. Η κατακόρυφη διάταξη των ηλεκτροδίων καθιστά της κινήσεις αυτές ευχρηστώτερες και περιορίζει τους κινδύνους θραύσης αυτής. Χάρη σ' όλα αυτά τα πλεονεκτήματα καθώς και την καλύτερη θέρμανση που επιτυγχάνει η κάμινο αυτή είναι από τις συνήθως προτιμότερες για τη μεταλλοργία του σιδήρου και έχει δυναμικότητα παραγωγής έως και 200tn.



Εικ. 11. Γενική μορφή τριφασικής ηλεκτρικής καμίνου τύπου Heroult (*direct arc smelting*)

Υπάρχει και ο τύπος **οριζόντιων ηλεκτροδίων** ο οποίος κατασκευάζεται σε μικρά μεγέθη δυναμικότητας μέχρι 2tn και χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Εικ.12. Γενική εικόνα μονοφασικής ηλεκτρικής καμίνου ακτινοβολούντος τόξου. (*indirect arc smelting*)

Και στους δυο παραπάνω τύπους πηγή θερμότητας είναι το βολταϊκό τόξο από το οποίο μεταδίδεται προς το φορτίο με ακτινοβολία. Στο τύπο Heroult η ακτινοβολία ευνοείται από τη θέση του τόξου σε σχέση με την επιφάνεια του φορτίου και ενισχύεται η θερμότητα η οποία προέρχεται από τη διέλευση του ρεύματος μέσα από αυτό.

2.1.3. Φρεατώδη καμίνια

Τα φρεατώδη καμίνια αποτελούν το σημαντικότερο τύπο μεταλλουργικού αντιδραστήρα. Πρόκειται για την κατ' εξοχή συσκευή τήξης χυτοσιδήρου τεράστιων ποσοτήτων μέσω της αναγωγής. Αυτά χωρίζονται στις εξής παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το ύψος τους και της χρήσης τους :

Υψικάμινους (blast furnaces)

Χαμηλά φρεατώδη καμίνια (low shaft blast furnaces)

Χαμηλά ηλεκτρικά καμίνια (low shaft electric furnaces)

Απλά καμίνια πυρώσεως και φρύξεως (special shaft furnaces)

Ορθοκαμίνους (oupolas)

2.1.3.1. Υψικάμινοι

Αποτελούν την πλέον τελειοποιημένη μορφή φρεατώδους καμινιού και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη μεταλλουργία του σιδήρου.

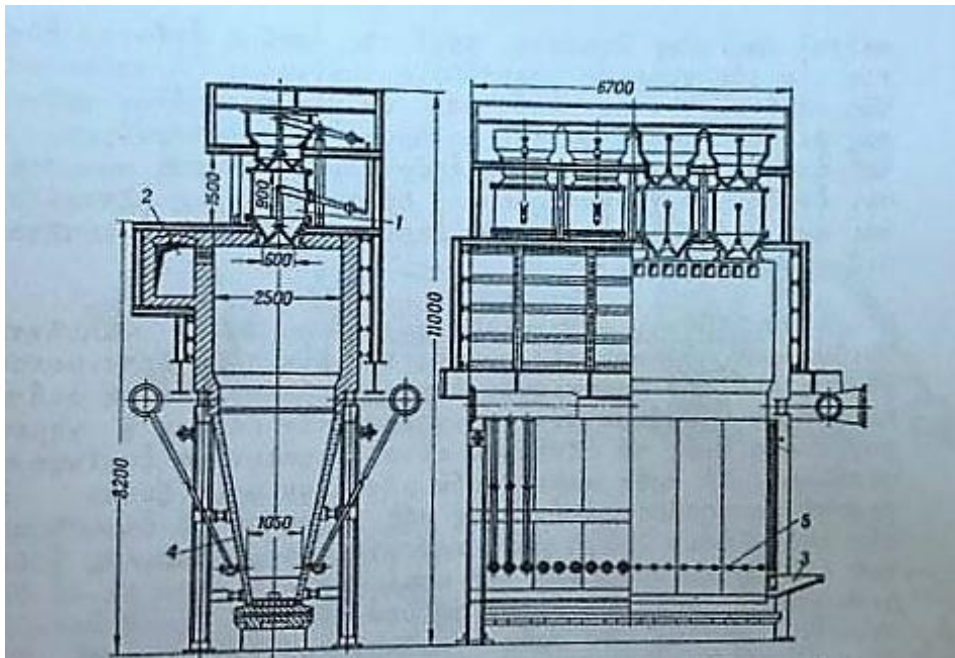
Τα κύρια μέρη της υψικάμινου είναι η βάση (bosch) , το φρεάτιο (stack) και το χωνευτήριο. Το φορτίο το οποίο αποτελείται από οξειδία του σιδήρου , κοκ , και συλιπασμάτων εισάγεται από τη κορυφή της υψικάμινου. Κατά την κατακόρυφη διαδρομή του ανάγεται και τήκεται και γίνεται δυνατή η λήψη μετάλλου και της σκουριάς μέσα από το χωνευτήριο από όπου εξάγονται.

Στις μέρες μας οι συγκεκριμένες συσκευές έχουν βελτιωθεί κατά πολύ. Έχουν ύψος 35 και πλέον μέτρα διάμετρο χωνευτηρίου 14 μέτρα και λειτουργούν με εμφύσηση αέρα σε θερμοκρασία πάνω από τους 1200°C. Για τον έλεγχο της κυκλοφορίας των αερίων εφαρμόζεται η τεχνική της πίεσης κορυφής (top pressure). Με την προσμυξη πετρελαίου , κονιοποιημένου άνθρακα , αερίου , ή ατμού στον εμφυσώμενο αέρα και εμπλουτισμού τους με οξυγόνο επιτυγχάνεται η ομαλή και οικονομική λειτουργία της συσκευής. Περαιτέρω βελτίωση έφερε ο έλεγχος της μηχανικής και χημικής σύστασης του φορτίου προς τήξη (sintering pelletizing κτλ) με αποτέλεσμα σήμερα η παραγωγική δυνατότητα των υψικάμινων να φτάνει τους 10.000tn με εντυπωσιακά

χαμηλό κόστος παραγωγής. Πριν τα καυσαέρια οδηγηθούν στο περιβάλλον παίρνουν πρώτα από τον κοννιοσυλλέκτη για να αποχωριστούν από τις σκόνες και πρέπει να βρίσκονται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 200 °C η οποία είναι και ανώτερη του σημείου δρόσου όπου και είναι απαραίτητο. Η ταχύτητα των καυσαερίων υπολογίζεται στα 150 km/h.

2.1.3.2. Χαμηλά φρεατώδοι καμίνια

Χρησιμοποιούνται για τήξη ελαφρώς αναγωγικής, για παράδειγμα στη μεταλλουργία μολύβδου και σπανιότερα στο ψευδαργύρου. Επίσης χρησιμοποιείται και για την ταυτόχρονη θείωση και τήξη πυριτικών μεταλλευμάτων προς λήψη matte. Για παράδειγμα κατά την εξαγωγή νικελίου και κοβαλτίου από πυριτικές ενώσεις σιδήρου και νικελίου το μέταλλευμα αναμιγνύεται με την κατάλληλη ποσότητα κωκ και γύψου (CaSO_4) και υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία εντός χαμηλής φρεατώδου καμίνου με την έμφυση αέρα. Στο τέλος της συγκεκριμένης κατεργασίας λαμβάνουμε matte νικελίου (FeS nNiS).



Εικ.13. Γενική όψη χαμηλής κάμινου (Water Jacket)

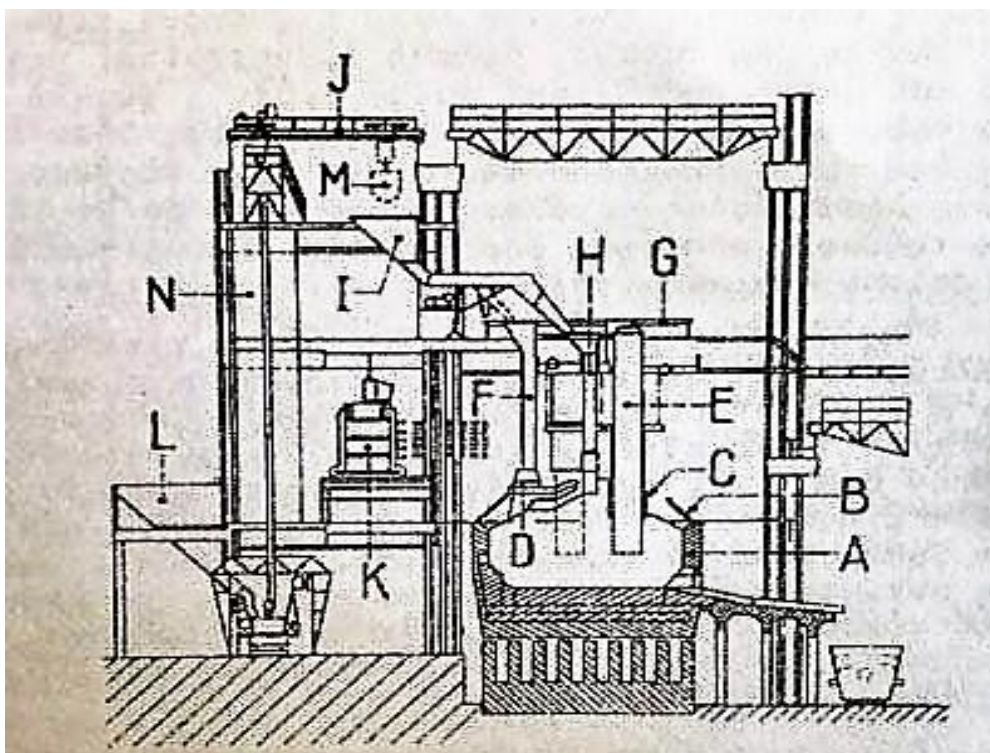
1. Διάταξη τροφοδοσίας. 2.Απαγωγή αερίων.

3. Οπή για απαγωγή σκόνης. 4. Χιτώνιο υδρόψξης. 5. Ακροφύσια.

2.1.3.3. Χαμηλά ηλεκτρικά καμίνια

Ουσιαστικά πρόκειται για χαμηλά φρεατώδη καμίνια των οποίων το ύψος του φρεατίου έχει μειωθεί σημαντικά. Πηγή θερμότητας για το συγκεκριμένο τύπο καμινιού είναι το ηλεκτρικό ρεύμα. Υπάρχουν δυο τύποι αυτού του είδους καμινιού. Η πρώτη είναι χωρίς θόλο – ανοιχτή κάμιнос (open low shaft electric furnace) και η δεύτερη είναι με θόλο – κλειστού τύπου κάμιнос (closed low shaft electric furnace).

Κύριο πεδίο χρήσης της χαμηλής καμίνου είναι η έντονη αναγωγική τήξη (αναφέρθηκε εκτενέστερα στο προηγούμενο κεφάλαιο) για την παραγωγή διάφορων σιδηροκραμάτων και κατά τα τελευταία ετη χρησιμοποιείται και για την παραγωγή χυτοσιδήρου. Τέλος στην Ελλάδα χρησιμοποιείται και για ουδέτερη αναγωγική τήξη για την εξαγωγή νικελίου και κοβαλτίου υπό μορφή πλούσιων σιδηροκραμάτων.



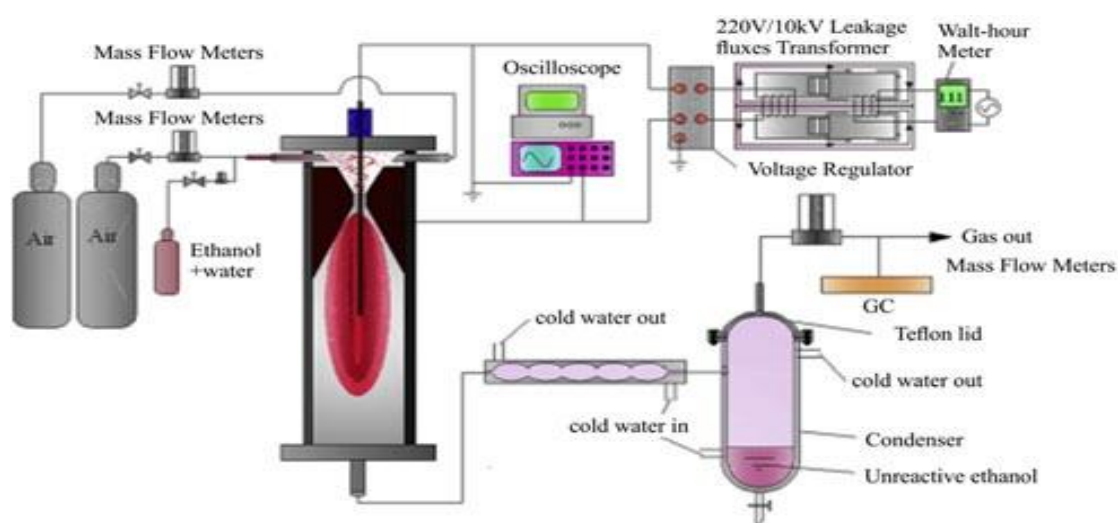
Εικ.14. Ηλεκτρική αναγωγική κάμιнос κλειστού τύπου

A. Φρεάτιο -B. Εξωτερικός δακτύλιος θόλου -C. Δακτύλιος διελεύσεως ηλεκτροδίου. D. Σιλό φορτώσεως -E. Ηλεκτρόδιο -F. Σωλήνας τροφοδοσίας.- G. Δάπεδο φόρτωσης- H. Κεντρικός σωλήνας τροφοδοσίας.- I. Σιλό - J. Γερανογέφυρα -K. Μετασχηματιστής -L. Σιλό Μ. Κάδος φορτώσεως. -N. Εγκατάσταση ανυψώσεως.

2.1.3.4. Κλίβανοι τήξης με χρήση πλάσματος

Στους κλίβανους πλάσματος ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται ιονισμένο αέριο (πλάσμα) και πετυχαίνονται θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 20.000° C. Χρησιμοποιούνται για την τήξη των πολύ δύστηκτων μετάλλων, όπως του βαναδίου, του τανταλίου, του μολυβδαινίου κ.ά., στην κατασκευή διηπειρωτικών βλημάτων και στην πυρηνική βιομηχανία.

Αυτοί οι κλίβανοι μπορεί να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ή και με συνεχές ρεύμα. Σε περιπτώσεις μεγάλου όγκου υλικού προς τήξη χρησιμοποιείται μεγαλύτερη ποσότητα πλάσματος για πιο ομοιογενή θέρμανση του. Επίσης διαθέτει και κάποια ασύγκριτα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παραπάνω κλίβανους όπως την δυνατότητα της διατήρησης της θερμοκρασίας σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της τήξης μέσω του ρυθμιστή παροχής πλάσματος. Ακόμα δεν επηρεάζεται από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες καθώς και την εύκολη κραματοποίηση υλικών λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας. Άλλο ένα πλεονέκτημά τους είναι η απαγωγή των ακαθαρσιών που εμφανίζονται κατά την τήξη με αποτέλεσμα να προκύπτουν καθαρότερα μέταλλα και κράματα. Επίσης παρέχουν τη δυνατότητα τήξης εναζωτωμένων μετάλλων με τη χρήση αζώτου. Τέλος άλλο ένα πλεονέκτημα τους είναι η ελάχιστη ποσότητα εξαγόμενων αερίων που έχει ως αποτέλεσμα η επιβάρυνση του περιβάλλοντος να είναι αμεληταία.



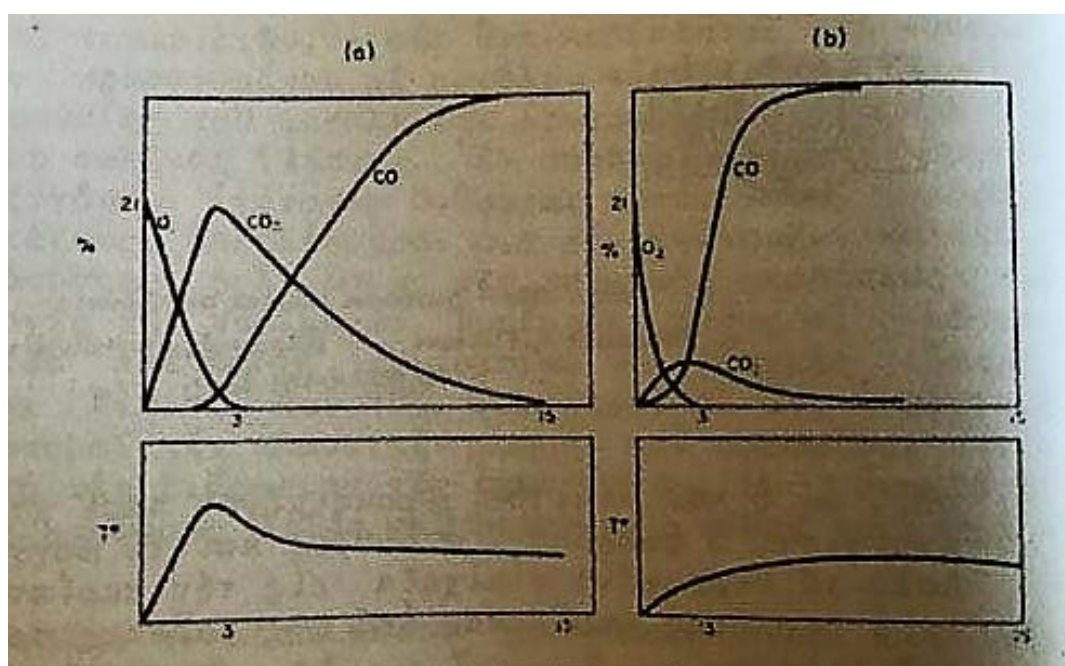
Εικ.15. – Διάταξη φούρνου πλάσματος

2.2.1. Καύση στερεών καυσίμων

Όσο αφορά τα στερεά καύσιμα έχουμε τρεις περιπτώσεις διάκρισης. Την καύση στρώματος χονδρομερούς κωκ την καύση στρώματος χονδρομερούς γαιάνθρακα και τέλος την καύση κανιοποιημένου γαιάνθρακα.

Καύση στρώματος χονδρομερούς κωκ

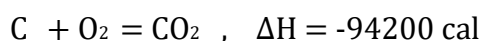
Στη περίπτωση αυτή το στρώμα του κωκ κινείται πάνω σε μια σχάρα. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται η σύσταση των αερίων και η θερμοκρασία σε διάφορες φάσεις της κατεργασίας. Η πρώτη (a) αντιστοιχεί σε πολύ μικρή αναγωγικότητα του κωκ και η δεύτερη (b) σε πολύ μεγάλη αναγωγικότητα αυτού.



Εικ.15. Σύσταση αερίων και κατανομή θερμοκρασιών κατά την καύση στρώματος χονδρομερούς κωκ

a. Κωκ μικρής αναγωγικότητας b. Κωκ μεγάλης αναγωγικότητας
b.

Η καύση διεξάγεται πάντοτε σε δυο στάδια. Κατά το πρώτο τελείται υπό την παρουσία οξυγόνου σύμφωνα με την παρακάτω εξώθερμη αντίδραση:



Ενώ κατά το δεύτερο το εκλυόμενο CO₂ ανάγεται από τον άνθρακα μέσω της παρακάτω ενδόθερμης αντίδρασης.



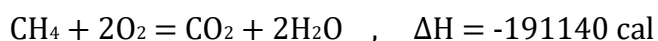
Η οποία και συνεχίζεται μέχρι την πλήρη κατάλυση του οξυγόνου.

Στο πρώτο στάδιο αντιστοιχεί πάχος στρώματος τριπλάσιο του μεγέθους των τεμαχίων. Στο δεύτερο στάδιο το πάχος του στρώματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερο και εξαρτάται από την αναγωγικότητα του κωκ.

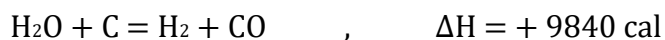
Κατά τη χρήση κωκ χαμηλής αναγωγικότητας επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμοκρασία και αυτό οφείλεται στη μικρότερη επικάλυψη των παραπάνω αντιδράσεων. Οπότε όταν χρειαζόμαστε υψηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούμε κωκ χαμηλής αναγωγικότητας.

Καύση στρώματος χονδρομερούς γαιανθράκου

Η ουσιαστική διαφορά με την καύση χονδρομερούς κωκ είναι η καύση των πτητικών. Αυτά περιέχουν υδρογόνο , μεθάνιο , μονοξείδιο , ελαφριά παραφίνη καθώς και διάφορους υδρογονάνθρακες . Τα συστατικά αυτά εκλύονται σε μεγάλες ποσότητες μεταξύ 200 – 400 °C. Το μεθάνιο και το υδρογόνο καίγονται σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις



και δίνουν ως προϊόντα CO₂ και H₂O και αυτά με τη σειρά τους αντιδρούν περαιτέρω με τον άνθρακα :

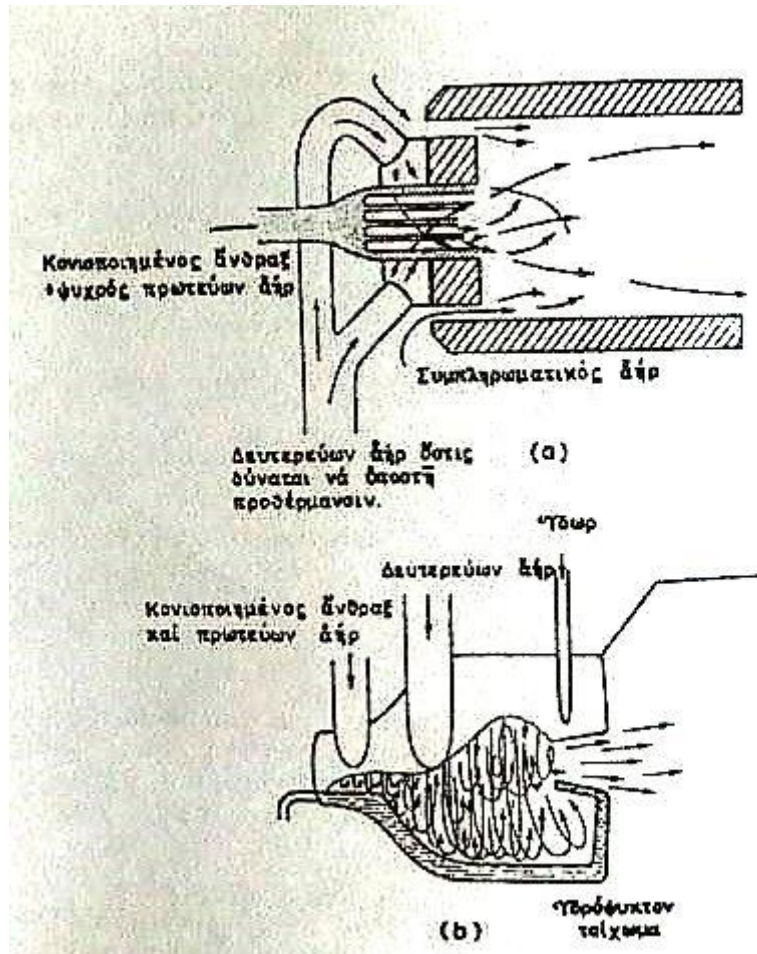


και μετατρέπονται σε H₂ και CO τα οποία προστατεύουν μέσα τους τα τεμάχια του άνθρακα που είναι απαραίτητα.

Ο γαιάνθρακας παρουσιάζει ανώτερη αναγωγικότητα σε σύγκριση με το κωκ και το πτητικό μέρος αυτού καίγεται πού γρήγορα με το που εισέλθει στο χώρο καύσης και οι συνηπάρχουσες ουσίες καίγονται βραδύτερα και καθιστούν τη φλόγα πιο φωτεινή. Αυτό που παραμένει μετά την καύση είναι κωκ αρκετά δραστικό διότι προέρχεται από απόσταξη σε χαμηλή θερμοκρασία.

Καύση κονιοποιημένου γαιάνθρακα

Εισέρχεται στο χώρο καύσης οδηγούμενος από αέρα και καίγεται με το που έρθει σε επαφή με το θερμό αέρα που κυκλοφορεί μέσα στο θάλαμο. Η συμπεριφορά του κατά τη καύση είναι ίδια με αυτή του στερεού καυσίμου με μεγάλα κενά. Ο λόγος που το χαρακτηρίζει : ειδικός όγκος / ειδική επιφάνεια είναι ασύγκριτα μεγαλύτερος από αυτόν του απόλυτα στερεού καυσίμου. Οι κόκκοι του κονιοποιημένου άνθρακα καθώς εκτοξεύονται στη θερμή ατμόσφαιρα του καμινιού υφίστανται απόσταξη και περιβάλλονται από ένα προστατευτικό υμένα που δημιουργείται από τα αποβαλλόμενα πτητικά υλικά. Όσο παχύτερος και σταθερότερος είναι ο υμένας τόσο πιο αργά γίνεται η καύση. Το πάχος και η σταθερότητα του υμένα εξαρτώνται από τη διαφορά ταχυτήτων του αέρα της καύσης και του κονιοποιημένου γαιάνθρακα.



Εικ.16. Σχήματα δυο συνήθων τύπων καυστήρων κονιοποιημένου γαιάνθρακα

a. Grid type burner – b. Cyclone type burner

2.2.2. Καύση υγρών καυσίμων

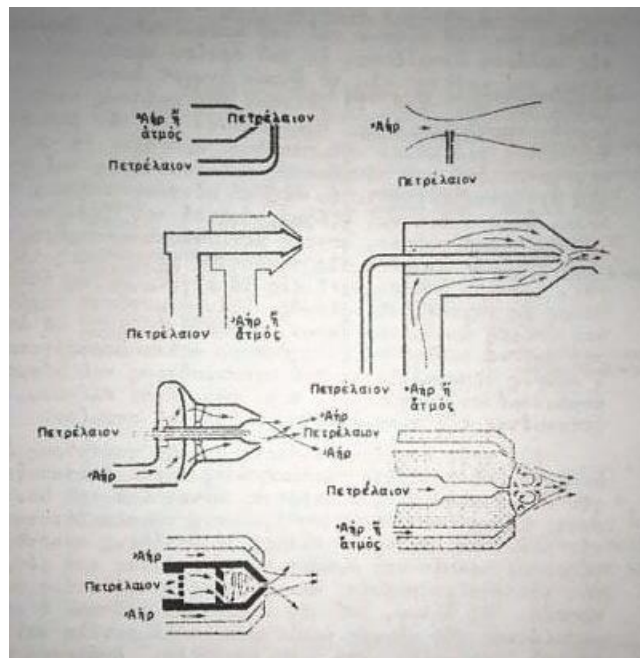
Πρόκειται για τη καύση του πετρελαίου η οποία μπορεί να διεξαχθεί με δυο τρόπους.

Καύση μετά από εξαέρωση

Σ' αυτή τη περίπτωση το πετρέλαιο εξαερώνεται και διοχετεύεται σε αέρια μορφή μέσα στο θάλαμο καύσης. Απαιτείται ελαφρώς τύπος πετρελαίου και παρουσιάζει σημαντική πτητικότητα , δηλαδή χρειάζονται μεγάλες ποσότητες. Το μειονέκτημα αυτό δε βοήθησε στη χρησιμοποίησή του.

Καύση κατόπιν εκνέφωσης

Και σ' αυτή τη περίπτωση το υγρό καύσιμο είναι το πετρέλαιο στο βαραίο του τύπο όμως. Αυτό διασπάται σε λεπτότατα σταγονίδια και διοχετεύεται υπό μορφή νέφους στο θερμό αέρα. Η εκνέφωση επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους : με την έκχυση αυτού υπό μεγάλη πίεση μέσα από μια οπή μικρής διαμέτρου , με έκχυση αυτού μέσα σε ρεύμα πεπιεσμένου αέρε ή ατμού και τέλος μηχανικά. Κάθε καυστήρας υγρού καυσίμου λειτουργεί με κάποιον από τους παραπάνω τρόπους όμως και στις τρεις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προθέρμανση του πετρελαίου για τη μείωση του ιξώδους έτσι ώστε να είναι πιο λεπτόρευστο. Στις μέρες μας αυτοί οι τύποι καυστήρων έχουν μεγάλο αντίκτυπο στη βιομηχανία της μεταλλουργίας. Η διαδικασία της καύσης οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στην αντίδραση των σταγονιδίων με τον προσαγογόμενο αέρα. Τα σχηματιζόμενα σωματίδια πίσσας και τέφρας συμβάλουν στην ενίσχυση της φωτινότητας της φλόγας και την καθιστούν ακτινοβόλο. Επίσης η ταχύτητα της καύσης και συνεπώς η θερμοκρασία που θα πετύχουμε εξαρτώνται από την καλή ανάμιξη του καυσίμου.



Εικ.17. Σχήματα διάφορων καυστήρων πετρελαίου

2.2.3. Καύση αερίων καυσίμων

Τα αέρια καύσιμα καίγονται είτε μετά την ανάμιξη τους με αέρα είτε κατ' ευθείαν.

Καύση κατόπιν ανάμιξης

Το καύσιμο και ο αέρας διοχετεύονται υπό πίεση και σε προκαθορισμένες αναλογίες αντός του θαλάμου καύσης. Μέσα στο σωλήνα και πριν την έξοδο του μίγματος από αυτόν έχουμε διάφορες συνθήκες ταχύτητων. Στα τοιχώματα αυτού η ταχύτητα τίνει να μηδενιστεί λόγω της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ αυτού και των τοιχωμάτων. Λόγο αυτού η φλόγα έχει σχήμα παραβολής. Επιβάλλεται όμως η διατομή του στομίου στην έξοδο να είναι να είναι τόση ώστε η μέγιστη ταχύτητα εξαγωγής του μίγματος να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας έτσι ώστε να μην υπάρξει περίπτωση επιστροφής της φλόγας. Από την άλλη όμως αν η φλόγα υπερβεί μια τιμή οριακής ταχύτητας τότε μπορεί να αποσπαστεί και να σβήσει. Το ενδεχόμενο αυτό λοιπόν αποφεύγεται και εξασφαλίζεται η καύση με την τοποθέτηση πυρίμαχου τοιχώματος (συνήθως πυρίμαχου πλίνθπου) σε συγκεκριμένη απόσταση από το στόμιο.

Καύση κατ' ευθείαν

Σ' αυτή τη περίπτωση το αέριο προς καύση εισάγεται στο θάλαμο καύσης ως έχει και αναμιγνύεται με τον παρεχόμενο ο οποίος έχει εισέλθει μέσα σ' αυτόν από άλλη οδό. Η ταχύτητα της καύσης εξαρτάται από την καλή ανάμιξη αερίου και αέρα. Όπως είναι λογικό αν η φορά εισροής του αερίου είναι ίδια με τη φορά εισροής του αέρα η ανάμιξη αυτών είναι πολύ δύσκολη και η καύσης που θα έχουμε θα είναι ατελείς.

Για να έχουμε καλή καύση η ανάμιξη αυτών των δυο πρέπει να γίνει λόγω ύπαρξης στροβίλου (turbulence) ο οποίος βοηθά στην καλή διάχυση των μορίων στο χώρο. Η διαφορά της διεύθυνσης και της ταχύτητας του αέρα αποφέρει τα ίδια αποτελέσματα. Επίσης η διαφορά πυκνότητας βοηθάει στην καλή ανάμιξη των δυο υπό την προϋπόθεση το πυκνότερο να βρίσκεται πάνω από το αραιότερο. Τέλος και η περίσσεια αέρα είναι εξίσου σημαντική πράγμα που μας οδηγεί στην εισαγωγή περισσότερου αέρα στο θάλαμο καύσης.

2.2.4. Ηλεκτρική θέρμανση καμινιών

Απλό πράγμα σχετικά είναι η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργεια σε θερμική. Αυτό οδήγησε στη σχεδίαση και κατασκευή μεταλλουργικών καμινιών που ως μέσω θέρμανσης χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους. Με διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αντίσταση (resistance heating) , με βολταϊκό τόξο (arc heating) , και μέσω επαγωγικών ρευμάτων (induction heating).

Θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση

Χρησιμοποιείται η ενέργεια η οποία καταναλώνεται κατά τη διέλευση του ρεύματος μέσα από μια αντίσταση. Η ενέργεια αυτή στη περίπτωση του συνεχούς ρεύματος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E = R I^2 t = V I t$$

Όπου R η αντίσταση της χρησιμοποιούμενης αντίστασης , I η ένταση του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση , V η τάση του ρεύματος και t ο χρόνος κατά τον οποίο υπάρχει ροή ρεύματος μέσα από την αντίσταση. Αν η παροχή του ρεύματος είναι τριφασική πράγμα το οποίο συνηθίζεται στις βιομηχανίες τότε ο παραπάνω υπολογισμός γίνεται από τη σχέση:

$$E = R I^2 t \cos\varphi = VI \cos\varphi t$$

Υποθέτοντας ότι δε θα υπάρχουν απώλειες και όλη η ενέργεια θα μετατραπεί σε θερμότητα υπολογίζουμε τη ποσότητά της λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι η 1KWH ισούται με 860Kcal

Μελετώντας τους παραπάνω τύπους διαπιστώνουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να μετατρέψουμε σε θερμότητα μέσω της αντίστασης δίνεται σε μεγαλύτερες τιμές όταν η τάση είναι χαμηλή και η ένταση υψηλή. Πρέπει να αναφερθεί ότι το υλικό κατασκευής της αντίστασης θέτει ορισμένα προβλήματα όσο αφορά την ειδική του αντίσταση , το κόστος αγοράς του και το σημείο τήξης του. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας στον οποίο αναφέρονται τα υλικά κατασκευής των αντιστάσεων καθώς και οι ιδιότητές τους.

Πίνακας 1. – Υλικά κατασκευής ηλεκτρικών αντιστάσεων

Τύπος	Ειδική αντίσταση	Σημείο τήξης °C	Αντίσταση στην οξείδωση
Nichrome	Υψηλή	Περίπου 1500	Καλή στους 1100 °C
Kanthal	>>	Περίπου 1500	Καλή στους 1250 °C
Άνθρακας	Χαμηλή	----	Καλή
Ανθρακοπυρίτιο	>>	----	Καλή στους 1550 °C
Μολυβδοσινοπυρίτιο	>>	----	Καλή στους 1700 °C
Μολυβδαίνιο	>>	2600	Μηδέν – Χρήση εντός H ₂ ή κενού
Βολφράμιο	>>	3400	>>
Ταντάλιο	>>	2850	>>
Λευκόχρυσος και τα κράματα του	>>	1775	Καλή
Μίγματα αλάτων	Μέση	Από 250	Καλή αλλά τα άλατα εξαερώνονται και αποσυντίθενται

Η θερμότητα που εκλύεται από την αντίσταση λόγω της διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτήν μεταδίδεται στο θάλαμο του καμινιού δια της ακτινοβολίας. Αν υποθέσουμε ότι επικρατούν συνθήκες μελανού σώματος, δηλαδή ο συντελεστής θερμικής ακτινοβολίας της αντίστασης είναι 1 τότε ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$R I^2 = A \sigma (T_{\alpha}^4 - T_{\kappa}^4)$$

Όπου T_a και T_k οι θερμοκρασίες της αντίστασης και του καμινιού αντίστοιχα, A είναι το εμβαδόν της ακτινοβολούσης επιφάνειας, και σ ο συντελεστής ακτινοβολίας. Εάν κατά τη θέρμανση η παρεχόμενη ενέργεια είναι σταθερή, T_a και T_k αυξάνονται μέχρι να ξεκινήσουμε να έχουμε απώλειες στο σύστημα μας.

$$R I^2 = A \sigma (T_a^4 - T_k^4) = \text{απώλειες}$$

Η εφαρμοζόμενη ισχύς περιορίζεται από την ποσότητα της θερμότητας την οποία η επιφάνεια της αντίστασης μπορεί να εκπέμψει με ακτινοβολία κατά τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της. Λόγο αυτού προτιμούνται αντιστάσεις με ορθογωνική διατομή από αυτές με κυκλική διότι έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια.

Αυτός ο τρόπος θέρμανσης έχει μεγάλο αντίκρισμα στα εργαστηριακά κυρίως καμίνια διότι το κόστος θέρμανσης είναι απαγορευτικό για βιομηχανική χρήση. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ελεγχόμενη ατμόσφαιρα για θερμικές κατεργασίες και για την τήξη εύτικτων μετάλλων.

Θέρμανση με βολταικό τόξο

Η θέρμανση μέσω βολταικού τόξου (electric arc heating) αποτελεί μια ειδική περίπτωση αυτής της θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση. Ιονισμένη ατμόσφαιρα αντικαθιστά την ηλεκτρική αντίσταση η οποία δημιουργείται στο χώρο του βολταικου τόξου και έχουμε θερμοκρασία της τάξης των 5000 °C.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την θέρμανση παραγωγής χαλύβων. Ο σημαντικότερος τύπος αυτών των καμινιών είναι τα τριφασικά που χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο γραφίτη και το τόξο δημιουργείται μεταξύ ηλεκτροδίου και φορτίου.

Θέρμανση μέσω επαγωγικών ρευμάτων

Η θέρμανση μέσω επαγωγικών ρευμάτων (induction heating) αποτελεί επίσης μια ειδική περίπτωση αυτής της αντίστασης με θέρμανσης με χρήση αντίστασης. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική αντίσταση αντικαθιστάται από πηνία που παράγουν επαγωγικά ρεύματα. Τα καμίνια αυτά αποτελούν τη βάση για την εγκατάσταση τήξης υπό κενό και η δυναμικότητα παραγωγής τους φτάνει τα 30.000 kg

2.3 Θερμοκρασία της φλόγας

Πολύ μεγάλη σημασία στο θέμα της καύσης είτε στερεού είτε υγρού είτε αερίου καυσίμου είναι η θερμοκρασία της φλόγας. Αυτή δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμαντική ικανότητα του καυσίμου αλλά και από πολλούς άλλους παράγοντες που υπολογίζονται από ορισμένες παραδοχές.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία της φλόγας.

Εφόσον έχουμε δεδομένη ποιότητα και ποσότητα παρεχόμενου καυσίμου εντός δεδομένου καμινιού τότε η θερμοκρασία που θα επιτύχουμε εξαρτάται από τη ταχύτητα της καύσης. Πράγματι όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα καύσης τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες και κατά συνέπεια η θερμοκρασία της φλόγας είναι μεγαλύτερη. Αυτό λοιπόν μας οδηγεί στο συμπέρασμα στο ότι τη θερμοκρασία της φλόγας επηρεάζει η γρήγορη και καλή ανάμειξη αερίου – καυσίμου , ο εμπλουτισμός του αέρα με οξυγόνο και η προθέρμανση του αέρα και του αερίου καυσίμου.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η ενίσχυση της θέρμανσης του καυσίμου επηρεάζει την θερμαντική του ικανότητα διότι επηρεάζει την ισορροπία των αντιδράσεων της καύσης.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας της φλόγας

Η θερμοκρασία της φλόγας μπορεί να υπολογισθεί με την προϋπόθεση ότι η καύση είναι τέλεια και ακαριαία μέσω της εξίσωσης της καύσης. Ως παράδειγμα θα υπολογιστεί η θερμοκρασία της φλόγας του φυσικού αερίου της παρακάτω σύστασης.

$$\text{CH}_4 = 85\%$$

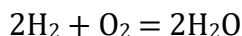
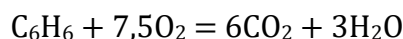
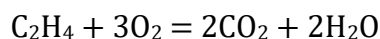
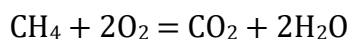
$$\text{C}_2\text{H}_4 = 3\%$$

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 3\%$$

$$\text{H}_2 = 5\%$$

$$\text{N}_2 = 4\%$$

Η καύση στο ακόλουθο παράδειγμα υποτίθεται ότι γίνεται με την αναγκαία ποσότητα ξηρού αέρα και με την παραδοχή ότι η αισθητή θερμότητα αέρα – αερίου είναι αμελητέα. Κατά τη καύση λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω αντιδράσεις:



Ανά μονάδα όγκου το αέριο περιλαμβάνει 0,85 μέρη CH_4 . Από την πρώτη εξίσωση προκύπτει ότι για την καύση του συστατικού αυτού απαιτούνται 1,70 μέρη O_2 , και παράγονται 0,85 μέρη όγκου CO_2 και 1,70 μέρη H_2O . με ανάλογο τρόπο υπολογίζονται και οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για την καύση των συστατικών C_2H_4 , C_6H_6 και H_2 καθώς και η παραγόμενη ποσότητα CO_2 και H_2O ανηγμένες πάντα στη μονάδα του όγκου του δοθέντος αερίου. Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 2. Καύση και προϊόντα καύσης

	Απαιτήσεις	Παραγωγή	
	O ₂	CO ₂	H ₂ O
Καύση του CH ₄	1,70	0,85	1,70
Καύση του C ₂ H ₄	0,09	0,06	0,06
Καύση του C ₆ H ₆	0,225	0,18	0,09
Καύση του H ₂	0,025		0,05
Σύνολο	2,040	1,09	1,90

Οπότε ο συνολικός απαιτούμενος όγκος οξυγόνου για καύση ενός κυβικού μέτρου αερίου είναι 2,040 m³. Και προϊόντα καύσης 1,09 m³ CO₂ και 1,90m³ H₂O με ανάμιξη 7,72 m³ N₂ εκ των οποίων τα 0,04m³ προέρχονται από το αέριο και τα 2,04 79/21 = 7,68 m³ από τον αέρα της καύσης. Η θερμομαντική ισχύς του αερίου είναι :

$$0,85 * 8560 = 7276 \text{ kcal από το CH}_4$$

$$0,03 * 14480 = 434 \text{ kcal από το C}_2\text{H}_4$$

$$0,03 * 33490 = 1005 \text{ kcal από το C}_6\text{H}_6$$

$$0,05 * 2582 = 129 \text{ kcal από το H}_2$$

$$\text{Σύνολο kcal } 8844 \text{ ανά κ.μ. αερίου}$$

Τέλος αν ορίσουμε t τη θερμοκρασία προκύπτει η εξίσωση:

$$8844 = 1,09 (0,406 + 0,00009t) t$$

$$+ 1,90 (0,373 + 0,00005t) t$$

$$+ 7,72 (0,302 + 0,000022t) t \Rightarrow 8844 = 3,483 t + 0,000363 t^2$$

και αν την επιλύσουμε ως προς t προκύπτει ότι

$$t = 2090 \text{ }^\circ\text{C}$$

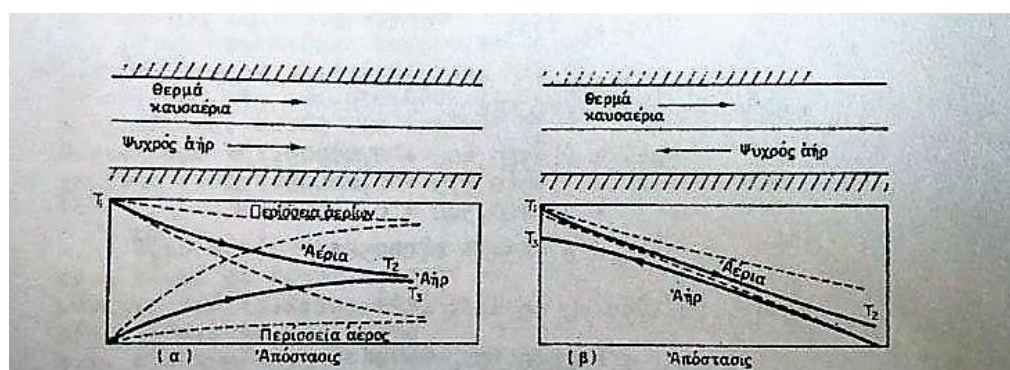
2.4. Ανάκτηση της αισθητής θερμότητας των καυσαερίων – θερμικά ισοζύγια

Σημαντικές είναι οι θερμικές απώλειες που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία των πυρομεταλλουργικών καμινιών. Μέρος αυτών των απωλειών οφείλεται στην ακτινοβολία των τοιχωμάτων ενώ το υπόλοιπο μέρος συνδέεται με την αισθητή θερμότητα των απαγόμενων καυσαερίων.

Για να μπορέσουμε να ανακτήσουμε αυτή τη θερμότητα και να βελτιώσουμε το όλο θερμικό ισοζύγιο τα καμίνια εξοπλίζονται με κατάλληλες συσκευές και διατάξεις. Αυτές είναι οι ανακομιστές (recuperators) , οι αναγεννητές (regenerators) και οι ατμολέβητες (waste heat boilers).

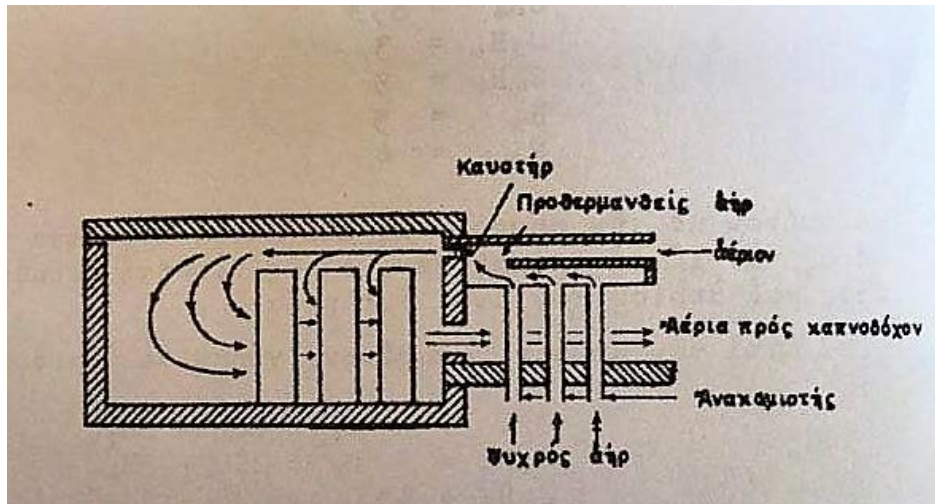
Ανακομιστές

Οι ανακομιστές είναι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν την αισθητή θερμότητα των καυσαερίων για την προθέρμανση του αέρα. Αέρας και καυσαέρια κυκλοφορούν αντίθετα εντός παράλληλων σωλήνων που είναι σε επαφή. Οι σωληνώσει αυτές είναι κατασκευασμένες από χάλυβα ή πυρότουβλα. Η χρησιμοποίηση χάλυβα βέβαια μας δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα λόγω του μεγάλου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και ασφαλέστερης κατασκευής.



Εικ.18. Ανακομιστής θερμότητας παράλληλης ροής

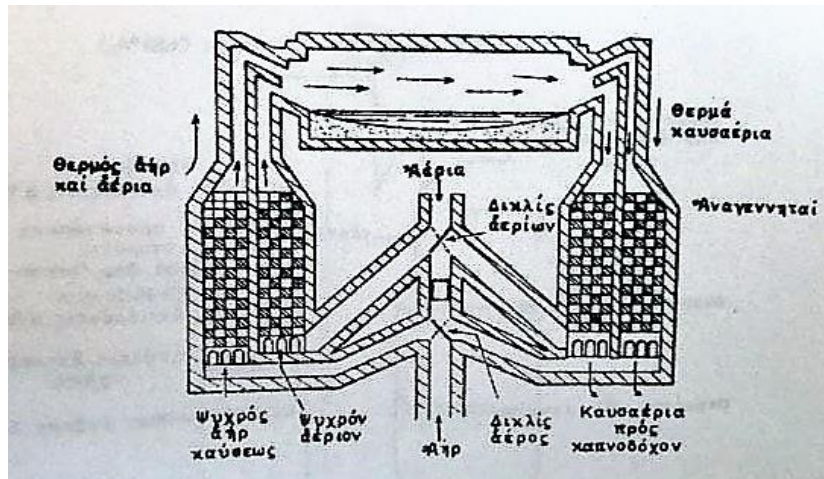
α. Ομόρροπη ροή – β. Αντίρροπη ροή



Εικ.19. Ανακομιστής θερμότητας κάθετης ροής

Αναγεννητές

Πρόκειται για θερμομονομένους θαλάμους κατασκευασμένους από πυρότουβλα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζονται δίοδοι για τη διέλευση των αερίων. Τα αέρια κινούνται από πάνω προς τα κάτω και μεταφέρουν τη θερμότητά τους στα πυρότουβλα και αυτό αποτελεί τη φάση της αύξησης της θερμοκρασίας του αναγεννητή. Μετέπειτα αυτή η θερμοκρασία μεταφέρεται από τα πυρότουβλα στον προς καύση αέρα που κινείται από κάτω προς τα πάνω. Αυτή η εναλλαγή θερμοκρασίας γίνεται ανά χρονικά διαστήματα της τάξης των 30min. Κατά την κατασκευή του αναγεννητή επιδιώκεται η επιφάνεια επαφής που χωρίζει το ρεύμα αερίων – καυσαερίων να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη για την μεγαλύτερη αξιοποίηση της θερμότητας των waste gas. Η απόδοση αυτών φτάνει έως και το 50%.



Εικ.20. Αναγεννητής στην περίπτωση έμφλογου καμινιού

Ατμολέβητες

Σ' αυτή τη περίπτωση τα καυσαέρια μεταφέρονται μέσω αγωγού με πυρίμαχη επένδυση μέσα στο λέβητα και εκεί έρχονται σε επαφή με τους αυλούς που διαθέτει μέσα από τους οποίους διοχετεύεται το μίγμα προς καύση. Μετά οδηγούνται στην έξοδο μέσω της καπνοδόχου. Το μειονέκτημα αυτής της περίπτωσης είναι η μεγάλη αντίσταση που δημιουργείται στη ροή του ατμού με αποτέλεσμα να είναι αναγκαίος ο μηχανοισμός τεχνητού ελκυσμού των καυσαερίων.

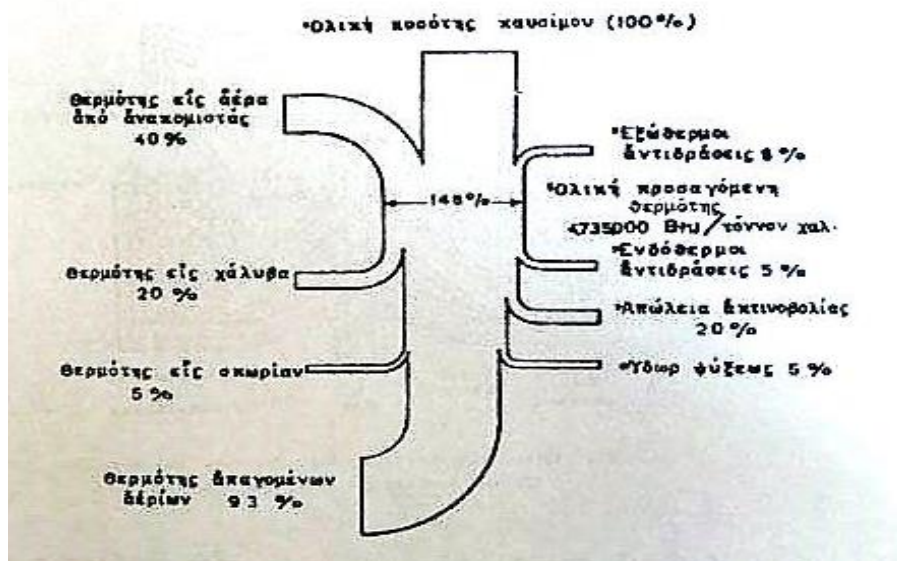
Είναι προφανές πως αποτελούν ένα είδος ανακομιστή οπότε φέρουν και τα μειονεκτήματά του καθώς και τους περιορισμούς του. Έναντι των αναγεννητών όμως έχουν το πλεονέκτημα της συνεχούς λειτουργίας και επιτυγχάνουν ανάκτηση της αισθητής θερμότητας των καυσαερίων της τάξης του 50% .

Θερμικά ισοζύγια

Η αποτελεσματικότητα του καμινιού από άποψη θερμικής απόδοσης εκφράζει το θερμικό ισοζύγιο. Αυτό αποτελείται από έναν πίνακα με δυο στήλες εκ των οποίων η πρώτη περιέχει τα ποσά θερμότητας που εισάγονται στο καμίνι και η δεύτερη τα εξερχόμενα.

Στην κάμινο εισάγεται ή παράγεται θερμότητα από την καύση και την αισθητή θερμότητα των ουσιών ή προσαγόμενων ουσιών (πρώτες ύλες , καύσιμο , αέρας) και τέλος από εξώθερμες αντιδράσεις εκλυόμενης θερμότητας.

Εξέρχεται ή απορροφάται από την κάμινο η αισθητή θερμότητα και η λανθάνουσα θερμότητα των παραγόμενων προϊόντων , η θερμότητα που απορροφάται από της ενδόθερμες αντιδράσεις , η αισθητή θερμότητα από την απαγωγή των καυσαερίων και τέλος η θερμότητα που αντιστοιχεί σε διάφορες απώλειες (θερμότητα προς τα τοιχώματα , απαγωγής από το νερό ψύξης απώλεια μέσω της αγωγής της μεταφοράς και της ακτινοβολίας)



Εικ.21. Διάγραμμα Sankey

Θερμικό ισοζύγιο καμινιού Siemens – Martin. Ενέργεια προσαγόμενου καυσίμου
100%

Κεφάλαιο 3^ο

Πυρίμαχα υλικά και αντιδιαβρωτικές επενδύσεις

Για να μπορέσουν να αντέξουν στις συνθήκες λειτουργίας τους τα καμίνια των πυρομεταλλουργικών κατεργασιών προστατεύονται από κατάλληλες επενδύσεις. Πρόκειται για διάφορους τύπους πυρίμαχων υλικών με χαρακτηριστικές ιδιότητες οι οποίες καθαρίζουν την εκλογή τους και το σε ποιά κάμινο θα χρησιμοποιηθούν. Κατά την κατασκευή των υλικών αυτών υπεισέρχονται ουσίες όπως το SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , CrO_3 κτλ.

3.1. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των πυρίμαχων υλικών

Χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός πυρίμαχου υλικού αποτελεί η αντοχή στη θερμοκρασία , η αντοχή στην αποφλοίωση , η διαστολή και η συστολή του , το πορώδες , το ειδικό του βάρος , και η αντοχή στην επίδραση της σκουριάς και των καυσαερίων.

3.1.1. Αντοχή στη θερμοκρασία

Η αντοχή στη θερμοκρασία (refractoriness) εκφράζεται από τη θερμοκρασία κατά την οποία το πυρίμαχο υλικό αρχίζει να μαλακώνει και να υποχωρεί και διακρίνεται στην κανονική και υπό φορτίο αντοχή.

Κανονική αντοχή

Είναι η θερμοκρασία στην οποία η κορυφή κατάλληλου κωνικού δοκιμίου κάμπτεται υπό την επίδραση της θερμότητας και φτάνει στο επίπεδο της βάσης του. Συνήθως η αντοχή στη θερμοκρασία εκφράζεται με τον αριθμό **P.C.E.** (pyrometric cone equivalent) του πυρομετρικού κώνου Seger.



Εικ.1. Pyrometric cone equivalent - Seger

Αντοχή υπό φόρτιση

Στην πράξη εντός της πυρίμαχης επένδυσης αναπτύσσονται τάσεις που οφείλονται στο βάρος του υπέρκειμενου τμήματος και τις συμπιέσεις λόγω διαστολής. Αυτές οι τάσεις μπορούν να προκαλέσουν παραμόρφωση του πυρίμαχου τοιχώματος σε θερμοκρασία κατώτερη της αντίστοιχης στην κανονική αντοχή. Αυτή είναι η περίπτωση της αντοχής υπό φορτίο (refractoriness under load).

Η απόκλιση της αντοχής υπό φορτίο από την κανονική αντοχή είναι αρκετά μεγάλη σε αρκετά πυρίμαχα υλικά. Αυτό συναντάται για παράδειγμα σε πυρίμαχες επενδύσεις που είναι κατασκευασμένες από μαγγάνιο ή χρώμιο ενώ ισχύει το αντίθετο για επενδύσεις που είναι κατασκευασμένες από πυρίτιο.

3.1.2. Αποφλοιωση

Με τον όρο αποφλοιώση χαρακτηρίζεται η τάση προς απόσπαση των πλακιδίων – τεμαχίων που είναι εγκατεστημένα παράλληλα προς τη ελεύθερη επιφάνεια. Βασικά η αποφλοιώση οφείλεται σε επιδράσεις θερμικές όμως μπορεί να συμβάλουν σε σπάνιες περιπτώσεις και άλλοι παράγοντες.

Θερμική αποφλοίωση

Είναι το αποτέλεσμα των τάσεων που εμφανίζονται εντός της πυρίμαχης κατασκευής λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερα σε περιπτώσεις όπου έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά με χαμηλό συντελεστή διαστολής και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα πυρότουβλα που είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο του οποίου ο συντελεστής διαστολής μειώνεται απότομα για θερμοκρασίες άνω των 600 °C. Τα πυρότουβλα από μαγνήσιο συμπεριφέρονται αρκετά καλύτερα διότι έχουν μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής και θερμικής αγωγιμότητας.

Σχεδόν πάντα η θερμική αποφλοίωση εμφανίζεται στα χαμηλότερα επίπεδα θερμοκρασιών διότι εκεί υπιέρχεται και η αντοχή του συνδετικού υλικού των τούβλων που στερούνται πλαστικότητας. Σε υψηλότερες όμως θερμοκρασίες το υλικό αυτό εμφανίζει μεγαλύτερη πλαστικότητα και ο κίνδυνος αποφλοίωσης απαλοίζεται.

Πρόσθετες επιδράσεις

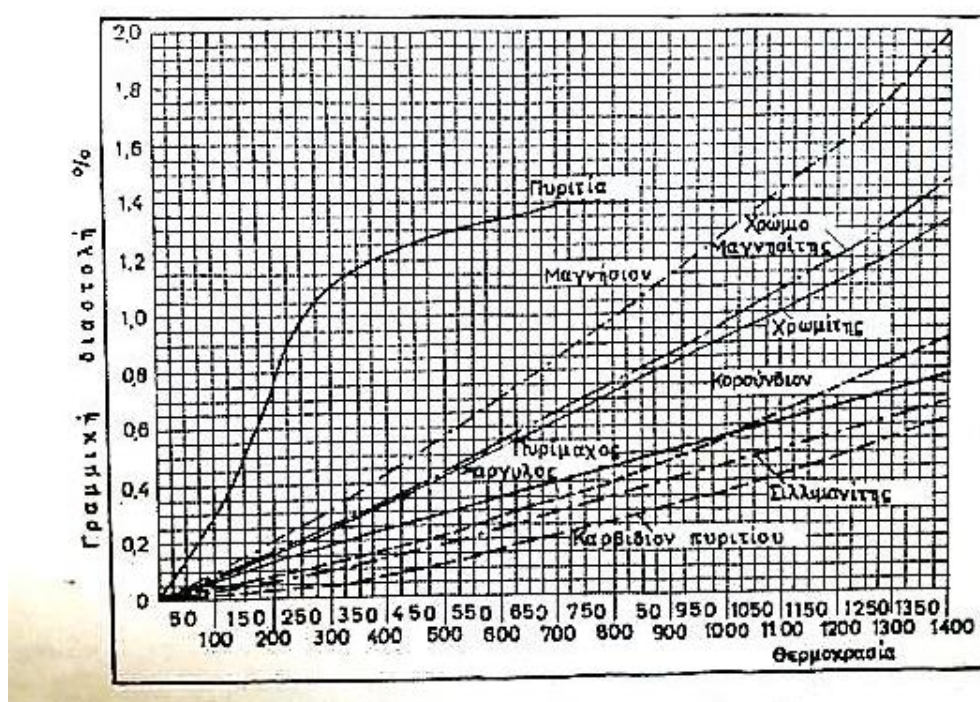
Αποφλοίωση όπως αναφέραμε μπορεί να προκύψει και λόγω άλλων παραγόντων.μεταξύ αυτών είναι και η μεταβολή της δομής ή της ορυκτολογικής σύστασης οι οποίες προέρχονται από αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών των πυρότουβλων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας. Αυτές οι μεταβολές συναντούνται κυρίως στην θερμότερη πλευρά της επένδυσης λόγω της μεγαλύτερης θερμοκρασίας. Τέλος μπορούν να προκύψουν και αντίδραση της σκουριάς με αυτά που προκαλεί αποσύνθεση του πυρίμαχου.

3.1.3. Διαστολή και συστολή

Όπως όλα τα σώματα έτσι και τα πυρίμαχα παρουσιάζουν μεταβολή στον όγκο τους υπο την επίδραση της θερμοκρασίας. Αυτές οι μεταβολές διακρίνονται σε **αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές – μόνιμες.**

Αντιστρεπτή μεταβολή όγκου

Εφόσον η θέρμανση δεν προκαλεί μόνιμες μεταβολές στο πυρίμαχο τότε καθώς ψύχεται επανέρχεται πάλι στις αρχικές του διαστάσεις. Η κατά τη θέρμανση διαστολή του πυρίμαχου μετριέται σε εκατοστιαίο ποσοστό επί του μήκους ή σε ίντσες ανά πόδι μήκους. Η παρακάτω καμπύλη δίνει τη διαστολή των συνηθέστερων πυρίμαχων υλικών εν συναρτήσει της θερμοκρασίας



Εικ.2. Αντιστρεπτή γραμμική διαστολή διάφορων πυρίμαχων υλικών

Από την παραπάνω καμπύλη πληροφορούμαστε ότι τα πυριτικά υλικά παρουσιάζουν απότομη γραμμική διαστολή μεταξύ 250 -350 °C και από αυτό το επίπεδο και πάνω αυξάνει με πολύ χαμηλότερο ρυθμό. Αντίθετα η γραμμική διαστολή των πυρότουβλων με 70% αλουμίνα (Al_2O_3), χρωμίου και μαγνησίου παρουσιάζουν μεγάλη γραμμική διαστολή σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι μεταβολές κατά τη μελέτη και το σχεδιασμό των καμινιών λαμβάνονται υπ' όψη και αφήνονται τα κατάλληλα κενά για την απορρόφηση αυτών ώστε να μην υπάρξουν ζημιές στο καμίνι και επέλθουν παραμορφώσεις.

Μόνιμη μεταβολή του όγκου

Πρακτικά όλα τα πυρίμαχα υλικά παρουσιάζουν μόνιμη μεταβολή του όγκου τους όταν υποβληθούν σε θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό όμως είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο κατασκευής του καμινιού με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να έχουμε μόνο αντιστρεπτές μεταβολές όγκου για χάρη της μακρόχρονης λειτουργίας του.

Κατά το στάδιο λοιπόν της παραγωγής των πυρότουβλων και ειδικότερα στο στάδιο του ψήσιματος τους το οποίο δεν ολοκληρώνεται στο εργοστάσιο παραγωγής τους έχει βρεθεί η λύση στο πρόβλημα αυτό. Το ψήσιμο τους στο εργοστάσιο δεν προωθείται μέχρι την τελική σταθεροποίηση αυτών. Η μεταβολή τους συνεχίζεται και ολοκληρώνεται εντός του καμινιού εις βάρος της ποιότητας της επένδυσης. Αφού λοιπόν κατασκευαστεί ολοκληρωτικά το καμίνι προτού λειτουργήσει σε κανονικές συνθήκες προηγούνται κάποια ανάματα τα οποία συνεχίζουν το ψήσιμο των πυρότουβλων ώστε αυτά να πάρουν την τελική τους θέση. Αυτή η διαδικασία φυσικά γίνεται σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές της λειτουργίας του καμινιού και με τις ανάλογες προθερμάνσεις.

3.1.4. Πορώδες και πυκνότητα

Χαρακτηριστική ιδιότητα η οποία αναφέρεται πάντοτε στις προδιαγραφές των πυρίμαχων υλικών είναι το πορώδες (porosity). Όλα ανεξαρτήτως των πυρίμαχα υλικά παρουσιάζουν κενά υπό τη μορφή πόρων των οποίων το μέγεθος ο αριθμός κτλ. Εξασκούν μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά τους. Το πορώδες εκφράζεται σε εκατοστιαίο ποσοστό αναλογίας όγκου των πόρων ως προς το συνολικό όγκο και καθορίζει τη διαπερατότητα και την πυκνότητα του πυρίμαχου.

Διαπερατότητα

Είναι στενά συνδεδεμένη με το πορώδες (permeability). Ο όρος αυτός χαρακτηρίζει την ταχύτητα διαχύσεως ρευστών (υγρών και αερίων) μέσα από το πυρίμαχο υλικό. Τον όρο αυτό τον καθορίζουν το μέγεθος των πόρων του υλικού, και το υλικό το οποίο κολούνται τα πυρότουβλα.

Η διαπερατότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία εντός του καμινιού. Το ιζώδες της σκουριάς και των μετάλλων αυξάνεται όσο αυξάνεται η

θερμοκρασία και κατά συνέπεια και η διεισδιτηκότητα τους στη πυρίμαχη επένδυση. Η διαπερατότητα εκφράζεται συνήθως σε cc / s cm² και κυμαίνεται μεταξύ 0.01 και 0.50

Πυκνότητα

Στενά συνδεδεμένη με το πορώδες είναι και η πυκνότητα (bulk density) του πυρίμαχου υλικού. Αυτή εκφράζει τον λόγο ξηρού βάρους μετέ του εξωτερικού όγκου και μετριέται συνήθως σε gr / cm³ ή lb / ft². οπότε και η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το χαρακτηρισμό των κενών ακριβώς όπως το πορώδες μέσω του τύπου :

$$P = \frac{D}{W-S}$$

Όπου P = πυκνότητα , D = το βάρος του ξηρού δείγματος στον αέρα , W = το βάρος του κορεσμένου υγρού δείγματος στον αέρα και S = το βάρος του δείγματος στο νερό.

Πίνακας 3. – πυκνότητα πυρίμαχων υλικών (lb / ft²)

Ανθρακας	100-125
Πυρίτιο	105-115
Πυρίμαχος άργιλος (fireclay)	120-135
Αλουμίνα	150-180
Μαγνήσιο	160-190
Χρωμίτης	180-210

3.1.5. Θερμικές ιδιότητες

Κατά την εκλογή του πυρίμαχου πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και κάποιες θερμικές ιδιότητες του όπως είναι η ειδική θερμότητα και η θερμική αγωγιμότητα.

Ειδική θερμότητα

Η ειδική θερμότητα είναι σταθερή σε δεδομένη θερμοκρασία και εξαρτάται από τη φύση του πυρίμαχου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μέσες ειδικές θερμότητες των συνηθέστερων πυρίμαχων υλικών.

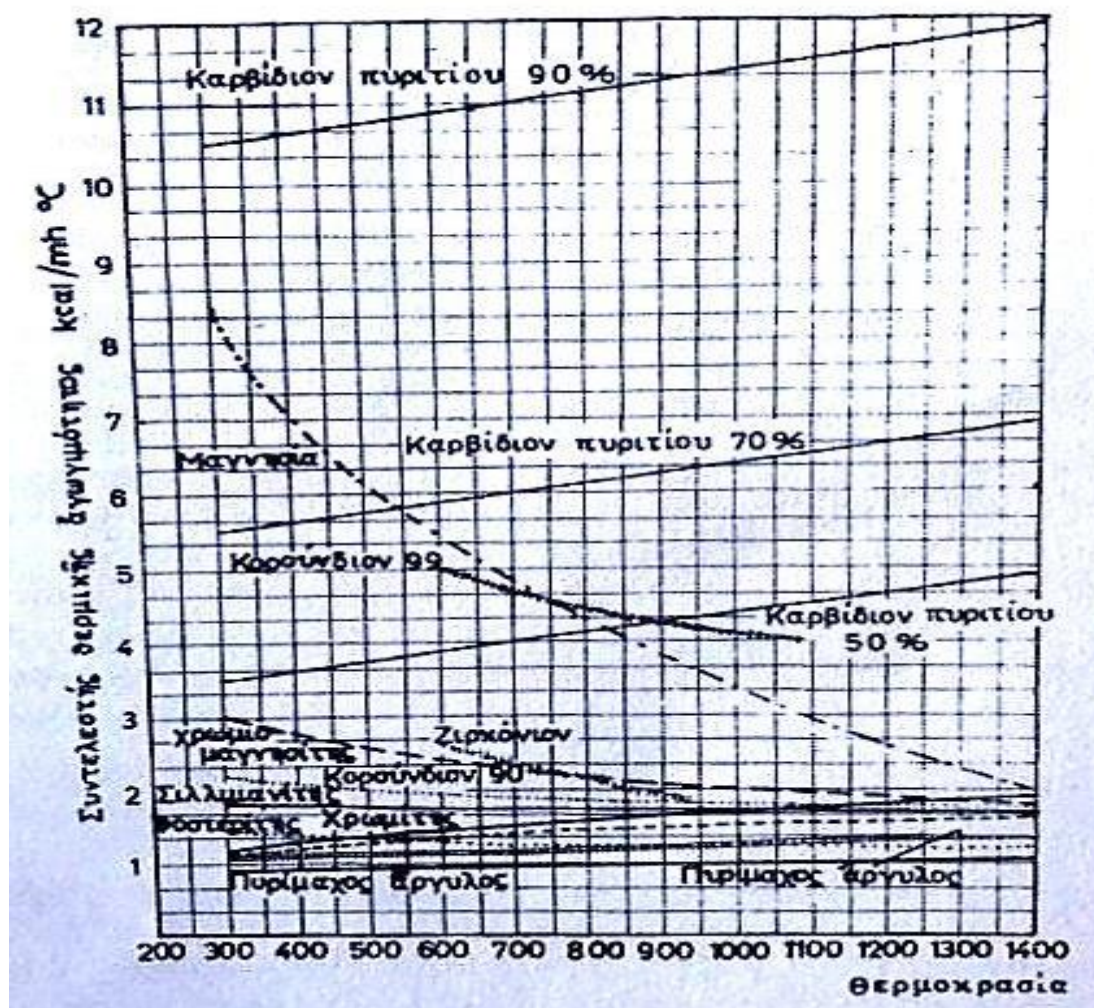
Πίνακας 4. – Ειδικές θερμότητες πυρίμαχων υλικών από 32 – 2400 °F

Θερμοκρασία °F	Αργιλικά πυρ.	Πυριτικά πυρ.	Μαγνησιακά πυρ.	Πυρ. Χρωμίου
32	0,193	0,169	0,208	0,170
200	0,199	0,188	0,219	0,175
400	0,205	0,211	0,232	0,182
600	0,212	0,229	0,243	0,188
800	0,220	0,238	0,250	0,194
1000	0,227	0,246	0,257	0,199
1200	0,234	0,252	0,263	0,204
1400	0,242	0,256	0,267	0,208
1600	0,248	0,260	0,273	0,212
1800	0,253	0,264	0,277	0,216
2000	0,258	0,269	0,282	0,220
2200	0,261	0,272	0,287	0,222
2400	0,266	0,276	0,293	0,224

Θερμική αγωγιμότητα

Αυτός ο όρος εκφράζει τη ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας μέσα στο πυρίμαχο και και επηρεάζεται από το πορώδες και τη σύσταση του. Στη προκειμένη περίπτωση

και οι τρεις τρόποι με τους οποίους μπορεί να μεταδοθεί η θερμότητα συμμετέχουν σ' αυτή : μετάδοση θερμότητας με αγωγή , με ακτινοβολία και με μεταφορά. Οι δυο τελευταίοι συνδέονται με την ύπαρξη πόρων όπου αναπτύσσονται ρεύματα μεταφοράς μέσα σ' αυτούς καθώς και ακτινοβολία μεταξύ των τοιχωμάτων τους. Η παρακάτω καμπύλη μας δίνει τη θερμική αγωγιμότητα διαφόρων πυρίμαχων υλικών και εξαιρούντας των μαγνησιακών πυρότουβλων βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η θερμική αγωγιμότητα.



Εικ.3. Καμπύλη θερμικής αγωγιμότητας των πυρίμαχων

Η ροή της θερμότητας μέσα από την πυρίμαχη επένδυση ενός καμινιού μπορεί να υπολογισθεί από των παρακάτω τύπο :

$$\frac{q}{A} = H = \frac{k(t_1 - t_2)}{L}$$

Όπου q = το ποσό της μεταφερόμενης ποσότητας μετρούμενο σε Btu / h , A = το εμβαδόν της επιφάνειας σε ft^2 , H = η ροή θερμότητας σε Btu / ft^2 h , L = το πάχος της επένδυσης , t_1 , t_2 η θερμοκρασία της εξωτερικής και της εσωτερικής επένδυσης σε $^{\circ}F$ και k = ο συντελεστής αγωγιμότητας του πυρίμαχου. Ο παραπάνω τύπος αντιπροσωπεύει την ωριαία ποσότητα της θερμότητας η οποία μεταφέρεται μέσα από 1 ft όταν η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας είναι $1^{\circ} F$. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο συντελεστής k εκφράζεται σε Btu / ft^2 h $^{\circ}F$ ft . Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι θερμικές αγωγιμότητες διάφορων πυρίμαχων υλικών για πάχος 1 in.

Πίνακας 5. -Ειδικές αγωγιμότητες πυρίμαχων υλικών

(k) Btu / ft^2 h $^{\circ}F$ ft για πάχος 1in.

Θερμοκρασία $^{\circ}F$	0	400	800	1.200	1.600	2.000	2.400	2.800
Χρωμίτης	9,0	10	11	12	13	14	15	16
Άργιλος	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10,4	11,2	12
Μαγνήσιο	89,6	33,5	28,4	18,4	21,9	20,4	20,0	20,5
Πυρίτιο	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5
Αλουμίνα	12,8	11,9	11,2	10,7	11,3	10,0	9,9	10,0

3.1.6. Αντοχή στην επίδραση σκουριάς και αερίων

Μεγάλο ρόλο στην εκλογή πυρίμαχου υλικού διαδραματίζει και η αντοχή του στην επίδραση των αερίων και της σκουριάς.

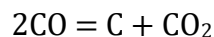
Επίδραση της σκουριάς στο πυρίμαχο

Πρόκειται κυρίως περί χημικής προσβολής η οποία εξαρτάται από το χημικό χαρακτήρα του πυρίμαχου και της σκουριάς καθώς και από τη ρευστότητα της τελευταίας. Όσο πιο όξινη και πιο λεπτόρρευστη είναι η σκουριά τόσο πιο γρήγορα προσβάλλουν τη πυρίμαχη επένδυση και το αντίστροφο. Όσο πιο ρευστή είναι η σκουριά τόσο πιο εύκολα διεισδύει στους πόρους του πυρίμαχου και προκαλεί χημική αλλοίωση η οποία ακολουθείται από μηχανική αλλοίωση ή κατ' ευθείαν διάλυση του.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις η προσβολή από τη σκουριά μπορεί να είναι μηχανική. Είναι η περίπτωση κατά την οποία η σκουριά ρέει πάνω στη πυρίμαχη επένδυση και θερμά στερεά τεμάχια αυτής προσκρούουν πάνω στην επένδυση παρασυρόμενα από τα καυσαέρια.

Επίδραση αερίων

Τα πυρίμαχα επίσης προσβάλλονται και από ορισμένα αέρια. Παρακάτω αναφέρεται ως παράδειγμα η προσβολή των αργιλοπιριτικών επενδύσεων της υψικαμίνου από μονοξείδιο του άνθρακα. Κάτω από τους 1000°C το αέριο αυτό διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση του Boudouard :



επί της οποίας το οξείδιο του σιδήρου ενεργεί ως καταλύτης. Σ αυτή τη περίπτωση η πυρίμαχη επένδυση μπορεί να έχει τόση ποσότητα άνθρακα εναποθετημένη στους πόρους της που να προκαλέσει την αποσύνθεσή της. Διευκρινίζεται πως μόνο το ελεύθερο οξείδιο παρουσιάζει καταλυτική δράση και επομένως η προσδιοριζόμενη ποσότητα του άνθρακα που προκύπτει από την ανάλυση των αερίων δεν αποτελεί κριτήριο κινδύνου για αποσύνθεση της επένδυσης.

Ένα ακόμα αρκετά δυσμενές αέριο είναι ο υδρατμός . αυτός προσβάλλει τα βασικά πυρίμαχα υλικά και επίσης μπορεί να προκαλέσει και μείωση του σημείου τήξης των αργιλοπυριτικών πυρότουβλων. Τα αλκάλια τα οποία μπορεί να περιέχονται στο καύσιμο ή το μετάλλευμα εξατμίζονται και διεισδύουν εντός των πόρων των πυρίμαχων και σχηματίζουν εύτικτες ενώσεις και προκαλούν τη βαθμιαία καταστροφή τους.

3.2. Διάφοροι τύποι πυρίμαχων

Στη μεταλλουργία χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι πυρίμαχων οι οποίοι κατατάσσονται ανάλογα με τη χρήση και τη χημική τους σύσταση στα εξής είδη: **αργιλοπυριτικά , πυριτικά , βασικά , ουδέτερα , θερμομονωτικά και τέλος ειδικά πυρίμαχα.**

3.2.1. Αργιλοπυριτικά πυρίμαχα

Συνίστανται από μίγμα οξειδίου του πυριτίου και οξειδίου του αργιλίου , και το άθροισμα αυτών καλύπτει πρακτικά το 100% του μίγματος. Αυτά διακρίνονται σε πτωχά και πλούσια σε αλουμίνα Al_2O_3 .

Αργιλοπυριτικά πτωχά σε Al_2O_3 .

Στη κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα πυρίμαχα με περιεκτικότητα σε Al_2O_3 κάτω από το 50%. Κατασκευάζονται όλοι σχεδόν οι τύποι εκτός των περιοχών 1-12% Al_2O_3 . Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται διάφορες αργιλιτικές και πυριτικές ενώσεις όπως η καολίνη(Al_2O_3 , $2SiO_2$, $2H_2O$) και άμορφο πυριτικό οξύ (SiO_2) και σ' αυτά προστίθεται πλαστική άργιλος ως συνδετικό. Ακαθαρσίες όπως ο σίδηρος , το τιτάνιο , το ασβέστιο , το μαγνήσιο , τα αλκάλια επηρεάζουν την αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και γι αυτό διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Βάση της αντοχής αυτής καθορίζεται και η ποιότητα των αργιλοπυριτικών πυρίμαχων που χωρίζεται σε υψηλή

, μέση , και χαμηλή (high , medium , low duty) . Τα συγκεκριμένα πυρίμαχα είναι γνωστά ως Chamotte , είναι σχετικά χαμηλού κόστους και τυχαίνουν ευρύτατης εφαρμογής.

Αργιλοπυριτικά πλούσια σε Al_2O_3

Στη κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα πυρίμαχα με περιεκτικότητα σε Al_2O_3 πάνω από το 50%. Βάση αυτής της περιεκτικότητας στο εμπόριο μπορούν να ζητηθούν ως 50 , 60 , 70 , 80% Al_2O_3 .

Για την κατασκευή των εν λόγω πυρίμαχων χρησιμοποιείται το διάσπορο ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) , ο γυψίτης ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) , ο βωξίτης ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) , και η ηλεκτροτετηγμένη αργιλία. Χρησιμοποιούνται επίσης διάφορα ορυκτά αργιλίου όπως π.χ. ο ανδαλουσίτης , ο κυανίτης , και ο σιλλιμανίτης . Υπό την επίδραση της θερμοκρασίας όλα αυτά τα ορυκτά μετασχηματίζονται σε μουλίτη. ($3 Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)

Ιδιότητες – Τρόποι κατασκευής

Επίδραση στις ιδιότητες των πυρίμαχων εξασκεί ο τρόπος κατασκευής τους. Η επικρατέστερη διαδικασία κατασκευής τους στις μέρες μας ξεκινάει με συμπίεση του υλικού της τάξης των 15000 lb / in² και στη συνέχεια ξήρανση αυτών στους 1100-1500°C. Η συμπίεση διεξάγεται υπό συνθήκες κενού για την πλήρη απομάκρυνση του αέρα από τις πρώτες ύλες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η βελτίωση της αντοχής στην αποφλοιώση και μείωση του πορώδους από τα οποία προκύπτει καλύτερη αντοχή κατά την προσβολή από τη σκουριά.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται στοιχεία για τη σύσταση και τις ιδιότητες διαφόρων τύπων αργιλοπυριτικών πυρίμαχων που χρησιμοποιούνται συχνότερα. Παρατηρείται πως η αντοχή σε θερμοκρασία αυξάνεται καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Al_2O_3 .

Πίνακας 6. – Σύσταση και ιδιότητες διάφορων τύπων αργιλοπιριτικών πυρίμαχων υλικών

Τύπος	Σύσταση%		Πυκνότητα (lb / ft ²)	Πορώδες (%)	Διαπερατότητα σε μονάδες C.G.S.	Αντοχή σε θερμ. υπό φορτίο 28 lb / in ² (°C)	Αντοχή ή στην αποφλ οίωση
	Al ₂ O ₃	SiO ₃					
Χαμηλή ς αντοχής	25	70	120-130	20	0,010	1460	Μέτρι α
Μέσης αντοχής	40	55	130-140	22	0,017	1520	>>
Υψηλής αντοχής	35- 42	50-60	135-145	20	0,040	1580	Καλή
Μέγιστη ς αντοχής	40- 45	50-55	140-150	20	0,040	1630	>>
50% Al ₂ O ₃	49- 51	43-47	135-145	24	0,050	1700	>>
60% Al ₂ O ₃	60- 65	32-35	135-150	25	0,045	1720	>>
70% Al ₂ O ₃	68- 72	20-25	140-150	25	0,050	1780	>>

3.2.2. Πυριτικά πυρίμαχα

Ακραία περίπτωση αργιλοπιριτικών πυρίμαχων είναι τα αργιλικά και τα πυριτικά πυρίμαχα , δηλαδή πυρίμαχα με περιεκτικότητα σε Al₂O₃ ή SiO₂ πρακτικά 100%. Αντίθετα με τα αργιλικά τα πυριτικά πυρίμαχα είναι πολύ φθηνά και χρησιμοποιούνται πολύ.

Τα εν λόγω πυρίμαχα παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε φορτίο σε υψηλές θερμοκρασίες. Πάνω από τους 600 °F έχουν εξαιρετική αντοχή σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας ενώ κάτω από τη θερμοκρασία αυτή είναι πολύ ευαίσθητα και αυτό αποτελεί το μεγαλύτερο τους μειονέκτημα.

Πίνακας 7. – Χαρακτηριστικές ιδιότητες πυριτικών πυρότουβλων

SiO ₂	90 - 95 %
Al ₂ O ₃	0,3 - 1 %
Πραγματικό ειδικό βάρος	2,35 – 2,55
Αντοχή στην αποφλοίωση υπό φορτίο 28 lb / in ²	1710 – 1730 °C
Πυκνότητα	1.7 – 1.9 gr / cm ³
Πορώδες	18-23
Διαπερατότητα	0.06
Θερμική διαστολή	1.0 – 1.3 % στους 1400 °C

3.2.3. Βασικά πυρίμαχα

Χρησιμοποιούνται διάφορα είδη βασικών πυρίμαχων από τα οποία τα σπουδαιότερα είναι τα μαγνησιακά και τα δολομιτικά. Στα βασικά πυρίμαχα κατατάσσονται και τα χρωμοϊτικά πυρίμαχα τα οποία στη πραγματικότητα έχουν ουδέτερη συμπεριφορά.

Μαγνησιακά πυρίμαχα

Βασικό τους συστατικό είναι το οξείδιο του μαγνησίου (MgO) και διακρίνονται σε συνήθη και ειδικά. Το οξείδιο του μαγνησίου είναι από τα πλέον πυρίμαχα υλικά και έχει σημείο τήξης 2800 °C έναντι 1700 °C του οξειδίου του πυριτίου και 2050 °C του οξειδίου του αργιλίου. Τα μαγνησιακά πυρίμαχα παρουσιάζουν ιδιαίτερος υψηλή αντοχή στην προσβολή υπό βασικές σκουριές και μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από τα αργιλοπιριτικά ή πυριτικά υλικά.

Δολομιτικά πυρίμαχα

Ο δομολίτης αποτελεί διπλή ανθρακική ένωση μαγνησίου και ασβεστίου και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα για βασικές επενδύσεις.

Υπό την επίδραση της θερμοκρασίας ο δολομίτης διασπάται σε οξειδία MgO και CaO. Το ανθρακικό ασβέστιο απορροφά την υγρασία με αποτέλεσμα να προκαλεί αποσύνθεση της δολομιτικής επένδυσης. Για την αποφυγή αυτού πριν την πύρωση του αναμιγνύεται με τόση ποσότητα οξειδίου του πυριτίου μέσω του οποίου το CaO αντιδρά και σχηματίζεται πυριτικό ασβέστιο (3CaO SiO_2) και έτσι επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση των δολομιτικών πυρότουβλων.

Πυρίμαχα χρωμίτη

Πρόκειται για πυρίμαχα τα οποία κατασκευάζονται από μεταλλεύματα χρωμίτη και περιέχουν 30-50% Cr_2O_3 . Σε μερικές περιπτώσεις ενισχύονται και με οξειδία του μαγνησίου και προκύπτουν μικτοί τύποι χρωμιομαγνησιακών πυρίμαχων, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στην αποφλοίωση και τη θερμοκρασία.

Πίνακας 8. – Χαρακτηριστικές ιδιότητες των βασικών πυρίμαχων υλικών

Υλικό	Σύσταση %			Πυκνότητα (lb / ft ²)	Πορώδες (%)	Διαπερατότητα σε μονάδες C.G.S.	Αντοχή σε θερμ. υπό φορτίο 28 lb / in ² (°C)
	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃				
Δολομίτης CaO = 48%	40	2	-----	165-170	18-20	0,05	1400
Μαγνησίτης	85-92	2	-----	165-185	22	0,05	1500
Χρωμίτης	15-25	15-20	35-45	180-220	22-25	0,03	1350
Μαγνήσιο – Χρωμίτης	35-45	10-15	25-35	170-200	22-25	0,05	1650

3.2.4. Θερμομονωτικά πυρίμαχα

Για την μείωση των θερμικών απωλειών των μεταλλουργικών καμινιών παρεμβάλλεται μεταξύ του χαλύβδινου περιβλήματος και του καμινιού και της εξωτερικής μεριάς της πυρίμαχης επένδυσης κατάλληλο πάχος θερμομονωτικού υλικού (insulating material). Πρόκειται για υλικό χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας λόγω του μεγάλου πορώδους. Αυτά τα υλικά κατασκευής πυρότουβλων μπορεί να είναι διατομίτης , βερμικουλίτης , πορώδες αργιλοπυριτης κτλ.

Η θερμομόνωση έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας της πυρίμαχης επένδυσης. Πρέπει να προσεχθεί η θερμοκρασία των θερμομονωτικών υλικών δεν πρέπει να ξεπεράσει εκείνο το όριο κατά το οποίο μαλακοποιείται γιατί αυτό θα προκαλέσει καταστροφή των πόρων του. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των εν λόγω πυρίμαχων θερμομονωτικών υλικών.

Πίνακας 9. – Χαρακτηριστικές ιδιότητες των θερμομονωτικών πυρίμαχων υλικών

Υλικό	Θερμική αγωγιμότητα (Btu)		Πυκνότητα (lb / ft ²)	Πορώδες (%)	Μέγιστη ασφαλής θερμοκρασία
	600°C	800°C			
Πυρότουβλα Διατομίτη	1.0	1.3	30-40	60-70	1000
Πυρότουβλα Βερμικουλίτη	1.2	-----	20-30	-----	1000
Πορώδη αργιλοπυριτικά πυρότουβλα	2.0	2.2	45-60	60-65	1300

3.3. Προβλήματα χρήσης των πυρίμαχων

Τα προβλήματα που παρουσιάζονται σχετικά με τη χρήση πυρίμαχων υλικών είναι η εκλογή τους , η τοποθεσία τους καθώς και η συντήρησή τους.

3.3.1. Εκλογή του πυρίμαχου

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η εκλογή του πυρίμαχου σε κάθε περίπτωση. Αυτή βασίζεται στις ιδιότητες που έχουν τα διάφορα υλικά τα οποία οφείλουν να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις. Όπως είναι φυσικό δεν γίνεται να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις λόγω ύπαρξης μειονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων των υλικών. Οπότε η επιλογή γίνεται προς ικανοποίηση των σημαντικότερων.

Η σημαντικότερη επιδίωξη είναι η χαμηλότερη επιβάρυνση αυτού ανά μονάδα παραγωγής του καμινιού. Αυτό δε συμβαδίζει απαραίτητα και με τη διάρκεια ζωής της επένδυσης γιατί υπάρχει και ο παράγοντας κόστος. Κριτήρια επιλογής όπως είναι φυσικό αποτελεί και ο χώρος εργασίας του πυρίμαχου όσο αφορά τις θερμοκρασίες , τη χημική σύσταση των σκουριών και των παραγόμενων καυσαερίων από την καύση και τέλος οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. Όταν οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας είναι μεγάλες τότε δεν επιτρέπεται η εκλογή πυρίμαχου με μειωμένη αντοχή στην αποφλοίωση.

3.3.2. Χρήση των πυρίμαχων

Για να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα όσο αφορά το πυρίμαχο δεν αρκεί μόνο η κατάλληλη εκλογή του πυρίμαχου αλλά και η σωστή χρήση του.

Γενικές οδηγίες

Μετά την κατασκευή τους τα πυρίμαχα δε χρησιμοποιούνται κατ' ευθείαν παρά αποθηκεύονται σε αποθήκες μέχρι να έρθει η ώρα για τη χρησιμοποίησή τους. Επιβάλλεται η λήψη μέτρων για την αποφυγή αλλοιώσεων αυτών.

Όταν πρόκειται για μαγνησιακά πυρίμαχα τότε πρέπει να αποθηκεύονται σε στεγασμένους και ξηρούς χώρους και σε στοιβάδες χαμηλού ύψους.

Συμβαίνει συχνά να χρησιμοποιείται βασική επένδυση για την κατασκευή του χωνευτηρίου και όξινη για την κατασκευή της οροφής. Υπάρχει κίνδυνος προσβολής της υποκείμενης βασικής επένδυσης από την πτώση σταγόνων τηγμένου πυριτικού οξέος σε περίπτωση που η θερμοκρασία του θόλου φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Για την αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου χρησιμοποιείται ουδέτερη επένδυση στο άνω τμήμα της βασικής επένδυσης.

Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή όξινων και βασικών πυρότουβλων και ιδίως όταν η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 1350 °C . Σ' αυτές τις θερμοκρασίες εμφανίζονται αντιδράσεις μεταξύ στερεών φάσεων και οδηγούν στην ταχεία αποσύνθεση τους. Είναι απαραίτητο λοιπόν να παρεμβάλλεται μεταξύ αυτών ένα στρώμα ουδέτερων πυρίμαχων για παράδειγμα χρωμίτη.

Το πάχος της βασικής επένδυσης είναι κατ' αρχήν σημαντικότερο από αυτό της όξινης λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας. Για χάρη της καλής θερμικής μόνωσης , υπό συνθήκες λογικού πάχους χρησιμοποιείται πίσω από τη βασική επένδυση σειρά αργιλοπιριτικών μονώσεων.

Κατασκευή της επένδυσης

Τα πυρότουβλα εφάπτονται το ένα με το άλλο και μεταξύ τους παρεμβάλλεται ειδικό κονίαμα το οποίο γίνεται προσπάθεια να μην ξεπερνάει το πάχος των 2mm. Προς αντιμετώπιση των διαστολών , προβλέπονται ειδικά διάκενα (expansion joints) όπου

χρησιμοποιούνται χάρτινα ή ξύλινα παρεμβύσματα τα οποία καίγονται και γι αυτό σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ελαστικά κονιάματα ή ακόμα μπορούμε να αφήσουμε μεταξύ της εξωτερικής πλευράς της επένδυσης και του μεταλλικού περιβλήματος ελεύθερο χώρο που πληρείται με συμπιεστό υλικό (back filling).

Κατά την ξηρή τοποθέτηση το κονίαμα υπό μορφής λεπτότατης κόνεως τοποθετείται πάνω από το διάκενο και εισχωρεί σ' αυτό με τη βοήθεια κάποιων κραδασμών που τις προκαλεί ο κατασκευαστής για παράδειγμα με ένα ξύλινο σφυρί.

Στην υγρή τοποθέτηση γίνεται χρήση δυο τύπων κονιαμάτων. Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιείται με την ανάμειξη σε αυτόν υδρύαλου (magnesite water) και ο δεύτερος με θεικό μαγνήσιο (magnesite – sulphate of magnesium mortars). Προτιμότερα είναι τα κονιάματα του πρώτου τύπου σε αναλογία 55 μέρη όγκου κονιάματος και 45 μέρη όγκου υδρίαλου. Η ανάμειξη γίνεται με την έκχυση κονιάματος εντός του υδρίαλου (το αντίστοιχο απαγορεύεται) με συνεχή ανάδευση των δύο. Το μίγμα που προκύπτει είναι παχύρευστο και πήζει αρκετά γρήγορα πράγμα που σημαίνει πως πρέπει να εφαρμοστεί ταχέως.

Η τοποθέτηση του ξυρού μίγματος πρέπει να γίνεται αφού είμαστε σίγουροι πως δεν υπάρχει υγρασία εντός της επένδυσης. Εφαρμόζεται κυρίως στο πυθμένα της επένδυσης έμφλογων και ηλεκτρικών καμινιών. Όπου το μεγάλο πάχος της επένδυσης δεν επιτρέπει την εύκολη έξοδο του ατμού που δημιουργείτε από τη θέρμανση.

Συντήρηση της επένδυσης

Κατά τη χρήση του καμινιού όπως είναι λογικό υπάρχουν φθορές στη πυρίμαχη επένδυση οι οποίες πρέπει να εντοπίζονται και να αντιμετωπίζονται έτσι ώστε να παρατείνεται ο χρόνος ζωής της όσο το δυνατόν περισσότερο. Η επισκευή των ρωγμών γίνεται με τη χρήση κάποιων ειδικών κονιαμάτων επικάλυψης των φθορών. Για τα πυριτικά μίγματα χρησιμοποιούνται μίγματα πυριτικής άμμου με πίσσα ή υδρύαλου. Πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει η επισκευή βασικών επενδύσεων. Ανάλογα με την περίπτωση και τη θέση της φθοράς το προς επισκευή το τμήμα επικαλύπτεται μέσω περιφραγμένης μαγνησίας κατάλληλης κοκκομετρικής σύστασης ή μίγματος μίγμα αυτής με άνυδρη πίσσα.

3.3.3. Αντιδιαβρωτικές επενδύσεις

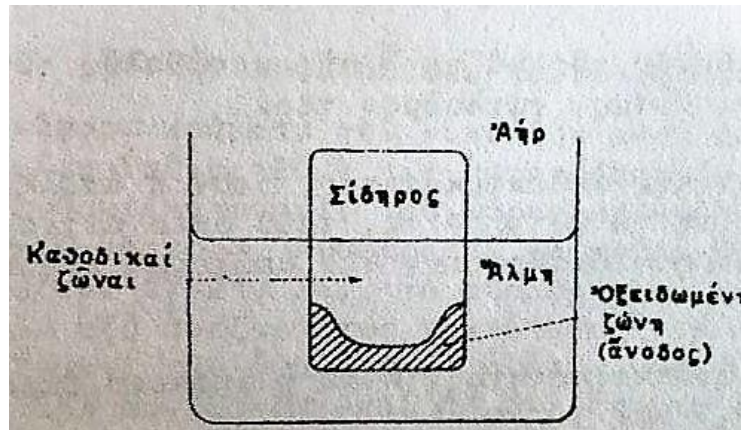
Διάβρωση καλείται η καταστροφή η οποία υφίστανται τα στερεά σώματα του καμινιού λόγο χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Βασικότερο πρόβλημα αντιμετωπίζουν τα μεταλλικά μέρη του καμινιού από την χημική και την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Χημική διάβρωση σιδήρου

Εμφανίζεται όταν ο σίδηρος έρχεται σε επαφή με καθαρό νερό και οφείλεται στην οξείδωση λόγω του οξυγόνου που περιέχεται σ' αυτό το οποίο εισέρχεται στο σίδηρο μέσω της ελεύθερης επιφάνειάς του. Καθώς εισέρχεται λοιπόν σ αυτόν η οξείδωση προκαλείται λόγω της μεγάλης περίσσειας αυτού και σχηματίζεται ένωση υδροξειδίου $Fe(OH_2)$ το οποίο είναι και ελαφρώς διαλυτό στο νερό. Προϊόντος του χρόνου επέρχεται ο κορεσμός του νερού σε $Fe(OH_2)$ και η περίσσεια του εμφανίζεται ως λευκό ίζημα. Εντός του νερού εμφανίζονται δυο ρεύματα αντίθετης φθοράς : το κατερχόμενο ρεύμα οξυγόνου και το ανερχόμενο $Fe(OH_2)$. Κατά τη συνάντηση αυτών των δυο ρευμάτων επέρχεται οξείδωση του υδροξειδίου και μετασχηματίζεται σε $Fe(OH_3)$ η οποία συνοδεύεται από μια χαρακτηριστική αλλαγή του χρώματος.

Ηλεκτροχημική διάβρωση του σιδήρου

Στην περίπτωση που η πλάκα σιδήρου βυθιστεί μέσα σε υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου εμφανίζεται τάση στα άκρα της. Οπότε έχουμε και την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού και κατά συνέπεια ηλεκτρικού κυκλώματος. Το ανώτερο τμήμα της πλάκας λειτουργεί ως κάθοδος και το κατώτερο ως κάθοδος. Στην άνοδο παρατηρείται έκλυση χλωρίου που προσβάλλει το μέταλλο και στην κάθοδο σχηματίζεται νάτριο το οποίο διασπά το νερό και εκδηλώνεται μέσω του σχηματισμού υδροξειδίου του νατρίου και της έκλυσης οξυγόνου.



Εικ.4. Ηλεκτροχημική διάβρωση του σιδήρου

σε διάλυμα χλωριούχου νάτριου

Στην πραγματικότητα όλα τα συνήθη υλικά προσβάλλονται από την ηλεκτροχημική διάβρωση της οποίας η ένταση εξαρτάται από τη μεταβολή της μάζας ή τη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ρυθμό που αναπτύσσεται.

- Εξαιρετική ανθεκτικότητα όταν η απώλεια βάρους δεν υπερβαίνει το $0,1 \text{ gr} / \text{m}^2 \text{ h}$ το οποίο και αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη διάβρωση και απώλεια πάχους $0,11 \text{ mm}$ ανά έτος.
- Μέση ανθεκτικότητα όταν η απώλεια βάρους κυμαίνεται μεταξύ $0,1 - 1 \text{ gr} / \text{m}^2 \text{ h}$
- Κακή ανθεκτικότητα όταν η απώλεια βάρους είναι μεγαλύτερη από $1 \text{ gr} / \text{m}^2 \text{ h}$

3.3.4. Αντιδιαβρωτικοί χάλυβες και χυτοσίδηροι

Ορισμένα είδη ειδικών χαλύβων και χυτοσιδήρων συμπεριφέρονται ικανοποιητικά από άποψη αντοχής στη διάβρωση και χαρακτηρίζονται ως αντιδιαβρωτικά. Αυτά είναι οι χάλυβες ελαφρά κραματωμένοι οι χρωμιούχοι και οι χρωμονικελιούχοι χάλυβες και τέλος οι ειδικοί χυτοσίδηροι.

Χάλυβες ελαφρώς κραματωμένοι

Πρόκειται για χάλυβες με μικρή περιεκτικότητα χαλκού (0,40 – 0,60%). Η αντοχή σε διάβρωση των χαλύβων αυτών μολονότι είναι ανεπαρκής είναι κατά πολύ ανώτερη των συνήθων χαλύβων. Μέσα σε υδατικό διάλυμα θειούχου οξέως παρουσιάζουν απώλεια βάρους 1-7 mg / cm^2 ανά 24h έναντι 50-80 των συνήθων χαλύβων Siemens – Martin και 120-300 των χαλύβων Thomas. Τέλος αν σ' αυτούς προστεθεί ποσότητα χρωμίου 0,20 – 0,60 αυξάνονται οι μηχανικές ιδιότητες τους και αν προστεθεί και μολυβδαίνιο τότε αυξάνεται και οι αντιδιαβρωτική ικανότητα τους στους 500-550 °C.

Χρωμιούχοι χάλυβες

Χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο χωρίς καθόλου ή με ελάχιστη προσθήκη νικελίου παρουσιάζουν ικανοποιητικές αντιδιαβρωτικές ικανότητες και χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιπτώσεις. Υπάρχουν δυο τέτοιοι τύποι χαλύβων. Αυτός με 13% Cr που συμπεριφέρεται καλά όταν έρχεται σε επαφή με οξειδωτικά διαλύματα αλάτων (χρωμικών , χλωρικών κτλ.) ή οξέων (νιτρικό οξύ συγκέντρωσης κάτω από 20%) κτλ. Ο δεύτερος με 17% Cr ο οποίος έχει αρκετά καλά αντιδιαβρωτικές ικανότητες σε διαλύματα θειικού και υδροχλωρικό οξύ.

Χρωμονικελιούχοι χάλυβες

Σημαντική χαρακτηρίζεται η προσθήκη νικελίου σε χρωμιούχους χάλυβες το οποίο προσδίδει μεγάλη αντοχή σε οξειδωτικό περιβάλλον. Πρόκειται περί ανοξειδωτων χαλύβων οι οποίοι αποτελούνται από 18% Cr και 8% Ni. Ο χάλυβας αυτός παρουσιάζει τάση προς αύξηση της σκληρότητας και ευθραυστότητας. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε νικέλιο και η μείωση του χρωμίου περιορίζει αυτό το μειονέκτημα.

Μικρή προσθήκη τιτανίου (0,3-0,4%) , μολυβδαινίου (3-6%) και χαλκού (3%) επιφέρει βελτίωση από τη διάβρωση από οξέα όπως θειικό και υδροχλωρικό.

Χυτοσίδηρος

Καλή αντοχή στη διάβρωση σε περιβάλλον με υδροχλωρικό οξύ παρουσιάζει ο χυτοσίδηρος με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο (14,5 – 16Si). Με την προσθήκη μολυβδαινίου η αντοχή αυτή φτάνει σε μεγαλύτερα ποσοστά. Το σοβαρό μειονέκτημα αυτών των χυτοσιδήρων είναι ότι είναι δυσκατέργαστοι και όταν η κατεργασία τους είναι αναγκαία τότε αντικαθίστανται από χρωμονικελιούχους χυτοσιδήρους γνωστούς και ως Ni – resist οι οποίοι έχουν μικρότερη αντοχή στη διάβρωση και βελτιώνονται ελαφρώς με προσθήκη μολυβδαινίου.

3.3.5. Αντιδιαβρωτικά μέταλλα και κράματα

Εκτός από τους προαναφερόμενους ειδικούς χάλυβες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες παρουσιάζουν επίσης και ορισμένα μέταλλα και κράματα. Πρόκειται για το αλουμίνιο , το νικέλιο , το χαλκό , το μόλυβδο και κραμάτων αυτών καθώς και κάποιων ειδικών μετάλλων όπως ο άργυρος , το ταντάλιο , το τιτάνιο και το ζιρκόνιο.

Αλουμίνιο και τα κράματα του

Το αλουμίνιο ως δραστικό μέταλλο οξειδώνεται αρκετά γρήγορα. Στην επιφάνεια του σχηματίζεται ένα συνεκτικό στρώμα οξειδίου που προστατεύει το μέταλλο από περαιτέρω προσβολή. Η προστασία από αυτό το στρώμα είναι ανάλογη της ποιότητας του αλουμινίου και αυτό μας οδηγεί στο να χρησιμοποιούμε αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας της τάξης του 95%. Πολύ καλές αντιδιαβρωτικές ικανότητες έχουν επίσης τα κράματα αλουμινίου με μικρές ποσότητες μαγνησίου και πυριτίου. Το αλουμίνιο παρουσιάζει αντοχή στη διάβρωση έναντι πυκνού νιτρικού οξέως (σε συγκέντρωση ανώτερη του 80%) και των οξειδωτικών αερίων.

Νικέλιο και τα κράματά του

Το καθαρό νικέλιο έχει καλή αντοχή στη διάβρωση έναντι των αλκαλίων ακόμα και σε υψηλά ποσοστά αυτών. Εξαιρέση αποτελεί η αμμωνία με την οποία σχηματίζει σύμπλοκα άλατα υπό την παρουσία οξυγόνου. Επίσης συμπεριφέρεται καλά σε περιβάλλον με οξέα και άλατα. Διάφορα κράματα νικελίου που περιέχουν μολυβδαίνιο ή βολφράμιο μέχρι 20% είναι ανθεκτικά έναντι του υδροχλωρικού οξέως και του βασιλικού ύδατος.

Χαλκός , ορείχαλκος , μπρούτζος

Ο χαλκός και τα κράματα του (περιεκτικότητας σε Cu μεγαλύτερη από 80%) παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε περιβάλλον με θαλασσινό νερό , αμμωνιακά άλατα , αρραίου ή πυκνού θεικού οξέως εφόσον βρίσκονται σε χαμηλή θερμοκρασία. Τα κράματα με ψευδάργυρο (laitons) παρουσιάζουν σε σύγκριση με το χαλκό μικρότερη αντοχή στη διάβρωση αλλά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Αντίθετα τα κράματα με κασσίτερο (bronze) έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση με την προϋπόθεση ότι έχουν υποστεί τέλεια αποξειδωση κάτι το οποίο εξασφαλίζεται με την προσθήκη φωσφόρου.

Μόλυβδος και τα κράματα του

Ο μόλυβδος έχει καλή αντοχή έναντι του διοξειδίου του θείου μέχρι τους 200 °C στο θεικό οξύ καθώς και τα αραιά διαλύματα θεικών οξέων. Το μειονέκτημα αυτού είναι πως δεν έχει καλή αντοχή έναντι του θερμού θεικού οξέως και προ παντός με την παρουσία θεικού σιδήρου. Περιορισμένη αντοχή παρουσιάζει επίσης εν παρουσία θερμού νιτρικού οξέως και πυκνού υδροχλωρικού οξέος και μπορεί να προσβληθεί και από αλκαλικά διαλύματα και άλατα υδραργύρου. Οι μηχανικές του ιδιότητες είναι περιορισμένες οπότε χρησιμοποιείται κυρίως σε επενδύσεις ενώ η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων μπορεί να γίνει με την κραματοποίησή του σε βάρος όμως της αντοχής σε διάβρωση.

Ταντάλιο – Τιτάνιο – Ζιρκόνιο

Τα τρία αυτά μέταλλα παρουσιάζουν αρκετά υψηλή αντοχή έναντι του χλωρίου. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγαλύτερη χρήση του τιτανίου που όπως και το αλουμίνιο καλύπτεται από ένα προστατευτικό οξειδωτικό στρώμα το οποίο γίνεται να ενισχυθεί

με ανοδική οξειδωση εντός θειικού ή φωσφορικού οξέως ή μίγματος αυτών. Αντίθετα μπορεί ακόμα και να καταστραφεί σε αναγωγικό περιβάλλον.

Το τιτάνιο αντέχει σε χλωριούχα διαλύματα εκτός από αυτό του αλουμινίου και του ψευδαργύρου σε σχετικά θερμό περιβάλλον. Προσβάλλεται όμως από το υδροχλωρικό οξύ και ακόμα περισσότερο όταν η θερμοκρασία και η πυκνότητα είναι σε μεγάλα επίπεδα , ενώ αντέχει σε περιβάλλον νιτρικού οξέως σε οποιαδήποτε πυκνότητα και θερμοκρασία.

Κεφάλαιο 4^ο

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα περιγραφεί η διαδικασία της κατασκευής του καμινιού ημι-βιομηχανικής χρήσης, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και θα παρατεθούν και φωτογραφίες για την πλήρη κατανόηση της διαδικασίας. Καθώς επίσης και τρισδιάστατο σχέδιο αυτού.

4.1 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή

Το κύριο σώμα του καμινιού είναι ένα θερμοσίφωνο χωρητικότητας 40 lt το οποίο το πήρα από χώρο συγκέντρωσης μετάλλων προς scrap. Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από αυτόν καθώς και από την επεξεργασία του και τη διαμόρφωσή του.



Εικ.1. -Όψη θερμοσίφωνου



Εικ.2. -Οψη θερμοσίφωνου

Στη συνέχεια αφαιρούμε το θερμοστάτη και τις αναμονές που υπάρχουν για την εισαγωγή και την εξαγωγή του νερού από αυτόν και την αντίσταση από το θερμοσίφωνο καθώς και το περίβλημα του και το θερμομονωτικό υλικό από το οποίο περιβάλλεται.



Εικ.3.- Κύριο σώμα καμινιού.

Στη συνέχεια κόβουμε το θερμοσίφωνο σε δυο μέρη (πάτος με πλάγια τοιχώματα , καπάκι) ώστε να μπορέσουμε να διαμορφώσουμε τα πυρίμαχα θερμομονωτικά υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε.



Εικ.4. –Καπάκι καμινιού με ειδικά διαμορφωμένο δαχτυλίδι για τη στήριξη του θερμομονωτικού υλικού



Εικ.5. –Πάτος και τοιχώματα καμινιού

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται και η οπή που δημιουργήθηκε και στη συνέχεια θα διαμορφωθεί κατάλληλα για την σύνδεση του με το φλόγιστρο που θα διοχετεύει τη φλόγα στο χώρο τήξης.



Εικ.6. –Οπλισμός του καμινιού με θερμομονωτικά υλικά



Εικ. 7. –Πορομπετόν

Το θερμομονωτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το πορομπετό της εταιρείας Ytong και παρακάτω παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τα οποία μας οδήγησαν στην επιλογή του.

Το πορομπετόν (Ytong) αποτελείται από φυσικά υλικά: τσιμέντο, χαλαζία, άσβεστο και νερό. Έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Χαμηλό βάρος(450 kg/m³). Επιβαρύνει λιγότερο με φορτία την κατασκευή γεγονός που δρα υπέρ της αντισεισμικότητας της κατασκευής.
2. Παρέχει ικανοποιητική θερμό-ηχομόνωση χωρίς επιπλέον μόνωση (εξηλασμένη πολυστερίνη). Έχει συντελεστή Θερμοαγωγιμότητας $\lambda=0,095 \text{ kcal/mhoC}$, ο οποίος προσδίδει στην τοιχοποιία με Ytong πάχους από 15cm και άνω συντελεστή Θερμοπερατότητας $K < 0,6 \text{ kcal/m}^2\text{hoC}$.
3. Ακρίβεια χάρη στις μηδενικές αποκλίσεις στις διαστάσεις του.
4. Είναι πάρα πολύ εύκολο να το επεξεργαστεί κάποιος και να του δώσει το σχήμα που θέλει.

Αφού ολοκληρωθεί και η μόνωση του καμινιού με το παραπάνω υλικό και γίνει και η διαμόρφωση της οπής για το φλόγιστρο η κατασκευή μας είναι έτοιμη προς λειτουργία.



Εικ.8. –Τελειοποιημένο καμίνι σε λειτουργία

Παρελκόμενα καμινιού

Για την λειτουργία του καμινιού χρειάζονται και κάποια βοηθητικά μέρη τα οποία παρατίθενται και περιγράφονται παρακάτω.

Δοχείο για τη τήξη του αλουμινίου

Το αλουμίνιο που θέλουμε να λιώσουμε πρέπει να τοποθετηθεί ένα δοχείο το οποίο όπως είναι λογικό πρέπει να έχει υψηλότερο σημείο τήξης από αυτό του αλουμινίου. Οπότε χρησιμοποιήθηκε ένας πυροσβεστήρας που είναι κατασκευασμένος από χάλυβα ο οποίος τήκεται στους 1450 °C ενώ το αλουμίνιο στους 650°C περίπου ανάλογα με την καθαρότητα του.

Αφού αδειάσαμε τον πυροσβεστήρα τον κόπηκε στο κατάλληλο ύψος το οποίο καθορίζεται από το χώρο του καμινιού. Στη συνέχεια διαμορφώθηκε κατάλληλα για την εύκολη και ασφαλή χρήση του. Διαμορφώθηκε το στόμιο του έτσι ώστε η έκχυση του τηγμένου μετάλλου στο καλούπι να γίνεται με ασφάλεια και τοποθετήθηκε χαλύβδινη λάμα με οπή για την απομάκρυνση του από το καμίνι.



Εικ.9. –Δοχείο τήξης αλουμινίου

Λοιπά παρελκόμενα

Για την ασφαλή απομάκρυνση του δοχείου μέσα από το καμίνι και τη χύτευση του τηγμένου μετάλλου κατασκευάστηκαν κάποια ειδικά διαμορφωμένα άγκυστρα από χάλυβα.

Κατά την τήξη του το αλουμίνιο αποβάλλει ακαθαρσίες οι οποίες πρέπει να απομακρυνθούν πριν από τη χύτευση ώστε να μην επηρεάσουν το χυτό μας. Για την απομάκρυνση λοιπόν αυτών των ακαθαρσιών χρησιμοποιήθηκε μια ειδικά διαμορφωμένη κουτάλα από χάλυβα με προέκταση για την ασφαλή χρήση της.

Χρησιμοποιήθηκε φλόγιστρο για την παροχή του βουτανίου και την ανάμειξη του με τον αέρα το οποίο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Βασικά Χαρακτηριστικά φλόγιστρου

- Ισχύς: 53 kW (180843 BTU)
- Κατανάλωση: 2000g/h
- Διαθέτει σκανδάλη και ρυθμιστή ροής
- Συνολικό Μήκος : 89cm
- Μήκος Λαβής: 22cm
- Μήκος Φλόγιστρου: 67cm
- Διάμετρος Φλόγιστρου: 50 mm



Εικ.10 – Φλόγιστρο με σκανδάλη

Καύσιμη ύλη - προπάνιο

Όπως προαναφέρθηκε το προπάνιο χρησιμοποιείται για τη χρήση του καμινιού το οποίο αποθηκεύεται σε υγρή μορφή σε ειδικές μπουκάλες υψηλής πίεσης. Το προπάνιο είναι οργανική ένωση, που περιέχει άνθρακα και υδρογόνο, με μοριακό τύπο C_3H_8 . Το καθαρό προπάνιο, στις συνηθισμένες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία $25\text{ }^{\circ}C$ και υπό πίεση 1 atm , είναι αέριο, αλλά επειδή η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι $96\text{ }^{\circ}C$, δηλαδή μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη θερμοκρασία, μεταφέρεται και χρησιμοποιείται υγροποιημένο με συμπίεση, σε ειδικές φιάλες. Είναι ένα παραπροϊόν του φυσικού αερίου (ως 5%) και της διύλισης του αργού πετρελαίου. Χρησιμοποιείται συχνά ως καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσης, συσκευές φλόγας οξυγόνου - αερίου, ψησταριές, φορητές εστίες, κεντρικές θερμάνσεις και αερόστατα θερμού αέρα. Το προπάνιο είναι ένα από τα συστατικά του υγραερίου, που μπορεί να περιέχει επίσης βουτάνιο, μεθυλοπροπάνιο, προπένιο, βουτένια και βουταδιένια. Αν το υγραέριο περιέχει πολύ προπένιο δεν είναι κατάλληλο για καύσιμο οχημάτων.

Για τη μεταφορά του αερίου καυσίμου από τη μπουκάλα στο φλόγιστρο χρησιμοποιείται λάστιχο το οποίο πληρεί τις προδιαγραφές για αντοχή σε πίεση 8bar.

Ειδική μπουκάλα προπανίου χρησιμοποιήθηκε για την παροχή του αερίου καυσίμου στο καμίνι μας.



Εικ.11 – Άγκυστρα , κουτάλα , φλόγιστρο , λάστιχο , μπουκάλια , ρυθμιστής πίεσης

4.2 Κόστος κατασκευής – εκλογή υλικών – δυναμικότητα καμινιού

Το κόστος της κατασκευής η εκλογή των υλικών και η δυναμικότητα παραγωγής του καμινιού είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Αρχικά θα υπολογίσουμε το κόστος που είχε το καμίνι μας για να ολοκληρωθεί και πως οι τιμές των υποψήφιων υλικών επηρέασαν την εκλογή τους αλλά και την απόδοση του καμινιού.

4.2.1. Κόστος κατασκευής

Το θερμοσίφωνο όπως αναφέρθηκε το πήραμε από χώρο συλλογής μετάλλων προς ανακύκλωση και έτσι δε χρειάστηκαν χρήματα για την αγορά του. Επίσης και ο πυροσβεστήρας δεν αγοράστηκε. Τα υλικά που αγοράστηκαν λοιπόν καθώς και το συνολικό κόστος παρατίθενται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 –Κοστολόγιο καμινιού

Προϊόν	Κόστος σε €
7 block θερμομονωτικού 60x30x7,5	21
Χαλύβδινη λαμαρίνα – κοίλος κύλινδρος	30
Φλόγιστρο	30
Σπρεν Βαφης καμινιού	20
Μπουκάλα προπανίου 15kg	40

Σύνολο 141 €

4.2.2. Εκλογή υλικών

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου καμινιού που το υψηλό κόστος ήταν απαγορευτικό δεν υπήρχαν και πολλές επιλογές ως προς την εκλογή των υλικών για την κατασκευή του.

Έγινε μια προσπάθεια κατασκευής του με όσο το δυνατόν οικονομικότερα υλικά χωρίς βέβαια να παραγκωνιστεί και η λειτουργικότητα του. Το βασικότερο κόστος του καμινιού αποτελεί η πυρίμαχη επένδυση του. Εμείς χρησιμοποιήσαμε πορομπετό το οποίο κόστισε μόλις 21 € το οποίο μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όσο αφορά τη θερμομόνωση αλλά όχι τόσο στη φθορά κατά τη χρήση του. Ένα άλλο υλικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πυρίμαχη επένδυση το οποίο είναι ακόμα πιο οικονομικό από το πορομπετό είναι ο περλίτης ο οποίος θα μας κόστιζε μόλις 10€ που όμως θα απαιτούσε την κατασκευή ενδιάμεσου τοιχώματος για τη στήριξη του. Επίσης η θερμομόνωση που θα μας παρείχε θα ήταν χαμηλότερη και η διάρκεια ζωής του μικρότερη.



Εικ.12. – Περλίτης

Τα πυρότουβλα τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τζακιών , φούρνων κτλ θα ήταν άλλη μια εναλλακτική η οποία θα μας έδινε καλύτερη θερμομόνωση και διάρκεια ζωής όμως το κόστος θα ξεπερνούσε τα 70€.



Εικ.13. – Πυρότουβλο

Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιήθηκε το προπάνιο το οποίο συγκριτικά αποδεικνύεται καλύτερο από άλλες επιλογές που θα μπορούσαμε να έχουμε. Ενδεικτικά αναφέρονται το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Πίνακας.2. – Συγκριτικός πίνακας καυσίμων

Καύσιμο υλικό	Μονάδα μέτρησης ποσότητας	Θερμογόνος δύναμη καυσίμου	Πυκνότητα	Βαθμός απόδοσης	Τιμή μονάδας καυσίμου ή ενέργειας	Ενδεικτικό κόστος
-----	-----	H_u	P	H	K	K_Σ
-----	μ.μ.	Kcal μ.μ. ή kWh / μ.μ.	Kg / m^3	%	€ / μ.μ.	€ / kWh
Προπάνιο	kg	10,300 / 11,98	2,00	95	1,52	0,134
Πετρέλαιο θερμ.	Lt	8,400 / 9,77	840,000	90	1,35	0,154
Φυσικό αέριο	m^3	8,900 / 10,35	0,70	95	0,96	0,098

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε πως το προπάνιο υπερिशύει των άλλων δυο επιλογών ως προς την αποδοτικότητα. Όμως πρέπει να αναφερθεί και ότι η χρήση του προπανίου είναι πολύ πιο απλή όπως είδαμε διότι χρειαζόμαστε μια αντεπίστροφη βαλβίδα ένα λάστιχο μια μπουκάλα και ένα φλόγιστρο. Αντίθετα στη περίπτωση του πετρελαίου η εγκατάσταση θα ήταν πολυπλοκότερη και το κόστος της μεγαλύτερο.

5^ο Κεφάλαιο

Συμπεράσματα – προοπτικές για συνέχιση

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στην εύρεση αποτελεσματικών και ταυτοχρόνως οικονομικών τεχνικών ανάτηξης, που μπορούν να βρουν εφαρμογή στο κλάδο της ανακύκλωσης μεταλλικών υπολειμμάτων (scrap). Προκειμένου να μελετηθεί σε βάθος το θέμα και να δοθεί μια αξιόπιστη απάντηση τεχνολογικού ενδιαφέροντος, καταρχήν εξετάστηκαν διεξοδικά οι βασικές αρχές πυρομεταλλουργίας που διέπουν τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα, καθώς επίσης και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη κοινή βιομηχανική πρακτική, τα προβλήματα και τα πλεονεκτήματα που σχετίζονται με κάθε μια απ' αυτές. Στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής μου εργασίας κατασκευάσα μια κάμινο αερίου καυσίμου και στη συνέχεια συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την ενασχόλησή μου αυτή: για το αν είναι αποδοτικό ή όχι και τις φθορές που παρουσιάζονται κατά τη χρήση του και θα προταθούν πιθανές προοπτικές βελτίωσης. Επίσης θα το συγκρίνουμε και με ένα άλλο παρεμφερές το οποίο είχα κατασκευάσει παλαιότερα και είναι αρκετά χρησιμοποιημένο. Πάνω σε αυτό βασίστηκε και η σχεδιομελέτη του παρόντος καμινιού για αποφυγή ιδίων λαθών. Επίσης θα το συγκρίνουμε και με ένα άλλο παρεμφερές το οποίο είχα κατασκευάσει παλαιότερα και είναι αρκετά χρησιμοποιημένο. Πάνω σε αυτό βασίστηκε και η σχεδιομελέτη του παρόντος καμινιού για αποφυγή ιδίων λαθών.

- Είναι εφικτή η κατασκευή κλιβάνου τήξης ευτήκτων υλικών από θερμοσίφωνο και χρήση αερίου καυσίμου με μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία του σε σύγκριση με αυτών των κλιβάνων που χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη για παράδειγμα γαιάνθρακα και σαφώς πιο οικονομική από των κλιβάνων που χρησιμοποιούν ως μέσω θέρμανσης το ηλεκτρικό ρεύμα Όπως παρατηρείται και στο σχέδιο του καμινιού η εισαγωγή της φλόγας δεν γίνεται ακριβώς πάνω στη διάμετρο του καμινιού αλλά πάνω σε χορδή. Αυτό βοηθάει έτσι ώστε η φλόγα να στροβιλίζεται μέσα στο καμίνι με αποτέλεσμα να θερμαίνεται ομοιόμορφα ο χώρος και η εξαγωγή των καυσαερίων να γίνεται ομαλότερα.

για το αν είναι αποδοτικό ή όχι και τις φθορές που παρουσιάζονται κατά τη χρήση του και θα προταθούν πιθανές προοπτικές βελτίωσης

- Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα η φλόγα να έρχεται σε επαφή με το πορομετό που χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό το οποίο όπως αποδεικνύεται έχει πολύ μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες αλλά μειονεκτεί στην άμεση επαφή με τη φλόγα. Όμως αυτό δεν αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα της κατασκευής μας διότι η αντικατάσταση του είναι αρκετά εύκολη και οικονομική.
- Στην εισαγωγή της φλόγας παρατηρούνται κάποιες οπές. Αυτές είναι που επιτρέπουν στο οξυγόνο να εισέλθει στο χώρο καύσης και να αναμιχθεί με το προπάνιο. Πρακτικά μπορούμε να ρυθμίσουμε την εισαγωγή του αέρα μετακινώντας το φλόγιστρο μέσα και έξω. Αυτό μας βοηθάει να προσαρμόσουμε τη φλόγα ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες.

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από παλιό καμίνι παρόμοιας κατασκευής και συγκρίνεται με το νέο το οποίο έχει κάποιες αλλαγές η οποίες το κάνουν πιο λειτουργικό όσο αφορά την κατασκευή του και πιο αποδοτικό όσο αφορά την παραγωγικότητα του.



Εικ.14. – Παλιό και νέο καμίνι – τρόπος ανοίγματος καπακιού

Αριστερά βλέπουμε πως για το άνοιγμα του καμινιού χρησιμοποιείται ένας κοινός μερτεσές ο οποίος με την παρατεταμένη χρήση και λόγο του βάρους από το καπάκι έχει στρεβλώσει τα τοιχώματα του καμινιού και δεν επιτυγχάνεται πλήρες και ακριβές κλείσιμο.

Δεξιά βλέπουμε πως το καπάκι από καινούριο καμίνι είναι αποσπώμενο από το κύριο σώμα του καμινιού και έτσι δεν αντιμετωπίζουμε προβλήματα σαν αυτά του πρώτου.



Εικ.15. –Παλιό καμίνι

Στη παραπάνω φωτογραφία φαίνεται το πρόβλημα που δημιουργείται στον περλίτη από την εκτεταμένη χρήση του. Αποσυντήθεται και κονοποιείται με αποτέλεσμα να χάνει τις ιδιότητες του και να μην εξυπηρετεί πλέον το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε.

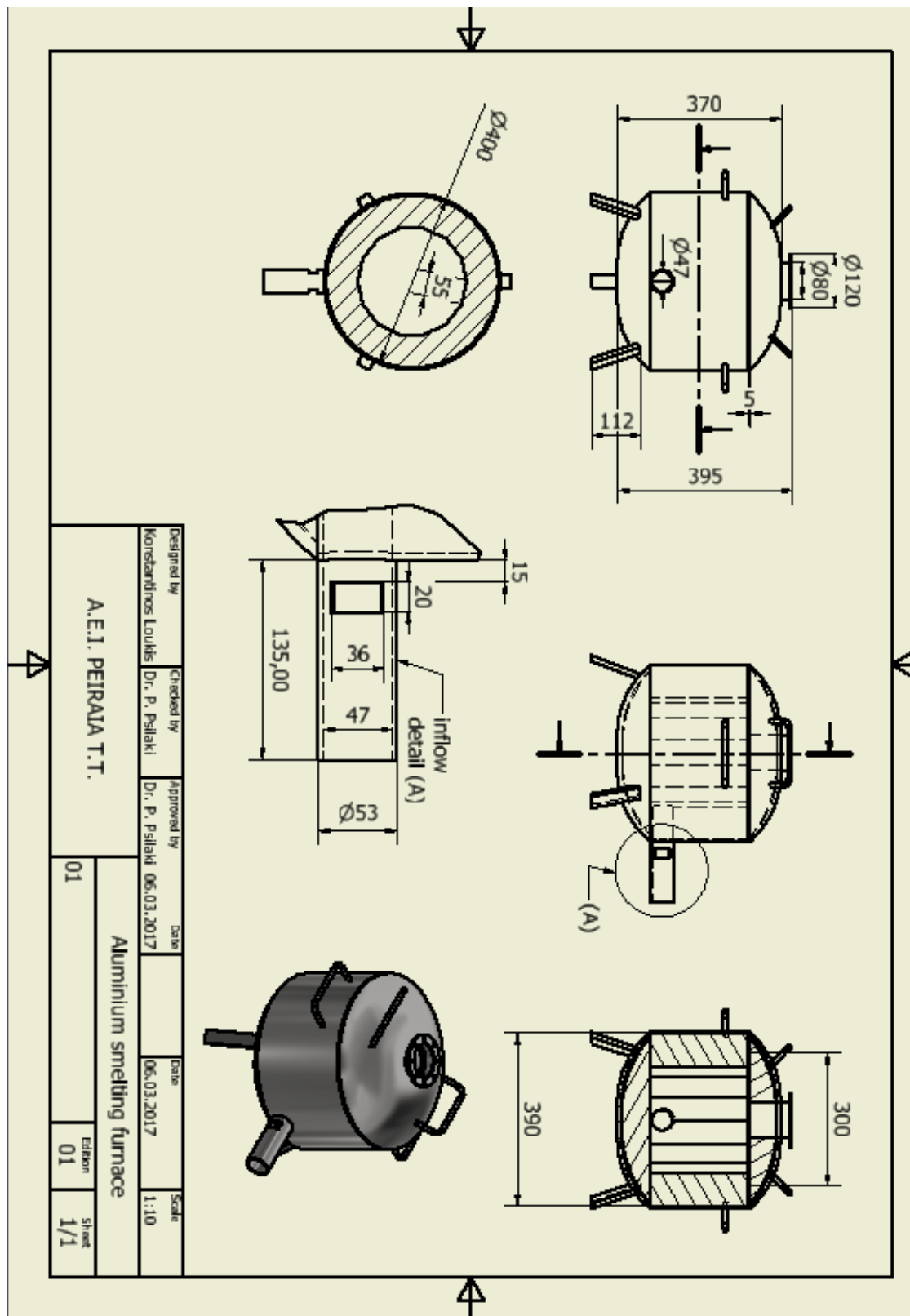
Επίσης άλλο ένα μειονέκτημα της πρώτης κατασκευής είναι το ότι το δαχτυλίδι στήριξης του μονωτικού υλικού είναι εγκατεστημένο πάνω στο καπάκι με συνεχή ραφή κάτι το οποίο έχει δημιουργήσει στρεβλώσεις λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Στη καινούρια κατασκευή όμως για τη στήριξη του δαχτυλιδιού έγιναν πονταριστές πάνω στο καπάκι για να υπάρχει και ένας βαθμός ελευθερίας ώστε να μην εμφανιστούν στρεβλώσεις.

Στην πρώτη δοκιμή του καμινιού η οποία καταγράφηκε και σε video τήκεται ποσότητα 1kg αλουμινίου και ο χρόνος που χρειάστηκε ήταν 18 λεπτά. Το αποτέλεσμα όμως αυτό δεν είναι ασφαλές για να καταλήξουμε σε ορθά συμπεράσματα διότι η διαδικασία εκτελέστηκε σε υπαίθριο χώρο και ο δυνατός αέρας επηρέαζε αρνητικά τη φλόγα και κατά συνέπεια και τη λειτουργία του καμινιού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του τήγματος να μην είναι επιθυμητή και το χυτό μας να έχει κάποιους πόρους. Για την αποφυγή αυτού του σφάλματος θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα θερμοζεύγος το οποίο θα μας παρείχε μια συνεχή ενημέρωση για την θερμοκρασία του τήγματος και έτσι θα ξέραμε πότε ακριβώς να κάνουμε τη χύτευση.

Όπως προαναφέρθηκε το πορομπετό το οποίο χρησιμοποιήθηκε μειονεκτεί στην άμεση επαφή με τη φλόγα και χρειάζεται αντικατάσταση μετά από κάποιο όριο χρήσης. Για να αποφευχθεί αυτή η φθορά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πυρότουβλα που χρησιμοποιούνται για κατασκευή τζακιών και καμινιών ψησίματος πύλινων αντικειμένων.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι το τηγμένο αλουμίνιο αντιδρά με το χαλύβδινο δοχείο μέσα στο οποίο τήκεται και το διαβρώνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τρυπάει στο κάτω μέρος του και να έχουμε απώλεια τήγματος. Όπως προαναφέραμε το δοχείο κατασκευάζεται αρκετά εύκολα από ένα πυροσβεστήρα πράγμα που σημαίνει πως δε μας συμφέρει οικονομικά να τον επενδύσουμε με μέταλλο το οποίο δεν αντιδρά με το λιωμένο αλουμίνιο. Πριν επέλθει η καταστροφή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί περίπου 20 φορές.

Παράρτημα



Βιβλιογραφία

1. Μουσούλου Α. Καθηγητής Ε.Μ. Πολυτεχνείου 1988 Τόμος Ι ΕΞΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ θεωρητικές και τεχνολογικές βάσεις
2. Μουσούλου Α. Καθηγητής Ε.Μ. Πολυτεχνείου 1988 Τόμος ΙΙ ΕΞΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ Σίδηρος – Χυτοσίδηρος – Χάλυβας – Σιδηροκράματα
3. P. W. King, "Sir Clement Clerke and the Adoption of coal in metallurgy", *Transactions of the Newcomen Society*
4. Brent Hiskey "Metallurgy, Survey" in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 2000, Wiley-VCH, Weinheim
5. *Μεταλλειολογικά–Μεταλλουργικά Χρονικά*, περιοδικό του Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχ. Μεταλλείων–Μεταλλουργών. 21.06.2005
6. F. Habashi, *Principles of Extractive Metallurgy*, vol. 3, *Pyrometallurgy*. Gordon & Breach, New York, USA 1986
7. Παπαδημητρίου Γεώργιος *Φυσική μεταλλουργία Αθήνα 1988*
8. F. Habashi, *Principles of Extractive Metallurgy*, vol. 3, *Pyrometallurgy*. Gordon & Breach, New York, USA 1986
9. W. G. L. Davenport, M. King, M. Schlesinger and A. K. Biswas, *Extractive Metallurgy of Copper*, 4th edition. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands 2002.