

# **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> :**

## **Εισαγωγή στα Κράματα Ψευδαργύρου**



## 1.1. Εισαγωγή

Σχετικά εύθρυπτο μέταλλο με ελαφριά κυανή απόχρωση. Οξειδώνεται επιφανειακά στον αέρα. Αρκετά δραστικό μέταλλο, προσβάλλεται από όλα τα οξέα και τις ισχυρές βάσεις. Γνωστό στην Ινδία και στην Κίνα πριν από τον 15ο αιώνα. Ονομασία γερμανικής προέλευσης: "zink" ("τσιγκος", υποδηλώνει συγγένεια με το "zinn": κασσίτερος). Ο ορείχαλκος (ή μπρούντζος ψευδαργύρου) είναι κράμα χαλκού-ψευδαργύρου γνωστό από την αρχαιότητα. Με τον ορείχαλκο κατασκευάζονταν σκληρότερα και ανθεκτικότερα εργαλεία και όπλα σε σχέση με εκείνα από καθαρό χαλκό.

- Η τοξικότητα του μετάλλου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σχετικά μικρή, ωστόσο μερικές από τις ενώσεις του απεδείχθησαν πειραματικά καρκινογόνα.
- Τα πλέον κοινά ορυκτά του είναι ο **σφαλερίτης**,  $Zn(Fe)S(\alpha)$  και ο **σμιθσονίτης** (ή **καλαμίνα**),  $ZnCO_3(\beta)$ , πιο σπάνιο ορυκτό του ψευδαργύρου είναι ο **βιλλεμίτης**,  $Zn_2SiO_4(\gamma)$ .



(α)

(β) Σμιθσονίτης



Σφαλερίτης



(γ) Βιλλεμίτης

Ο σφαλερίτης, που είναι μια μορφή σουλφιδίων του ψευδάργυρου, είναι το ορυκτό του μετάλλου αυτού στο οποίο υπάρχει ο ψευδάργυρος σε μεγαλύτερη συγκέντρωση, καθώς περιέχει ψευδάργυρο σε ποσοστό 60-62%.

Άλλα μεταλλεύματα, από τα οποία εξάγεται ο ψευδάργυρος περιλαμβάνουν το σμιθσονίτη (ανθρακικός ψευδάργυρος  $ZnCO_3$ ) και τον ημιμορφίτη (πυριτικό άλας ψευδάργυρου). Αυτά τα δύο μεταλλεύματα διαμορφώθηκαν ως αποτέλεσμα διαδικασιών διάβρωσης σε σουλφίδια ψευδάργυρου στα αρχέγονα χρόνια.

- Παγκοσμίως παράγονται περίπου 5.000.000 τόνοι μετάλλου. Κυριότερες παραγωγικοί χώρες: ΗΠΑ, Καναδάς, Αυστραλία, Αυστρία, Ρωσία.
- Η μεγαλύτερη ποσότητα του Ψευδάργυρου χρησιμοποιείται για την κατασκευή συσκευών, δοχείων και σωλήνων που έρχονται σε επαφή με το ύδωρ ή εκτίθενται στον αέρα και για την επιψευδαργύρωση ελασμάτων σιδήρου (γαλβανισμένη λαμαρίνα). Μεγάλες ποσότητες χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κραμάτων ως ο ορείχαλκος (μπρούντζος ψευδαργύρου) καθώς επίσης και στην κατασκευή μπαταριών (Zn-C). Ως  $ZnO$  χρησιμοποιείται στα ελαστικά, φαρμακευτικά, χρώματα και ως σταθεροποιητής πολυμερών.

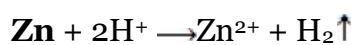
### **1.1.1. Γενικές χημικές ιδιότητες των ενώσεων του Ψευδάργυρου**

#### **1.1.1.α. Οξειδωτικές καταστάσεις**

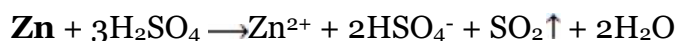
- Η μόνη σταθερή οξειδωτική κατάσταση του Ψευδάργυρου είναι η Ψευδάργυρος (II).

#### **1.1.1.β. Διαλυτοποίηση του μετάλλου**

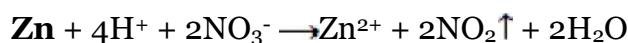
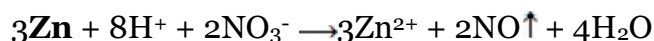
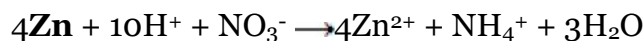
- Ο Zn, ως δραστικό μέταλλο, διαλύεται σε όλα τα αραιά ισχυρά οξέα καθώς επίσης και στο οξικό οξύ με έκλυση  $H_2$ :



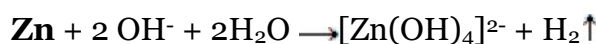
- Διαλύεται και σε οξειδωτικά οξέα, όπως το πυκνό-θερμό  $H_2SO_4$ :



- Διαλύεται στο  $\text{HNO}_3$  και όσο αραιότερο είναι το  $\text{HNO}_3$ , τόσο χαμηλότερο αριθμό οξείδωσης έχει το προϊόν αναγωγής του. Έτσι, με πολύ αραιό  $\text{HNO}_3$  παράγονται ιόντα  $\text{NH}_4^+$ , ενώ με πυκνότερα διαλύματα παράγονται  $\text{NO}$  και  $\text{NO}_2$ :



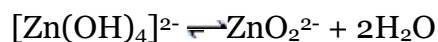
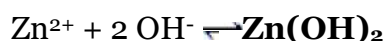
- Διαλυτοποιείται εύκολα σε διαλύματα ισχυρών βάσεων, με έκλυση  $\text{H}_2$ :



### 1.1.1.γ. Σταθερότητα των διαλυμάτων του Ψευδαργύρου

- Τα ιόντα  $\text{Zn}^{2+}$  είναι σταθερά, αλλά είναι απαραίτητη η ελαφριά οξίνιση των διαλυμάτων τους για να περιοριστεί η έστω και σε μικρό βαθμό υδρόλυσή τους.

- Σε αλκαλικά διαλύματα σχηματίζεται λευκό, ζελατινώδες ίζημα  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , το οποίο, ως επαμφοτερίζον υδροξείδιο, διαλύεται εύκολα σε περίσσεια βάσης σχηματίζοντας σειρά υδροξυσυμπλόκων και άλλων ανιοντικών σωματιδίων όπως:  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ,  $[\text{Zn}(\text{OH})_3]^-$ ,  $\text{HZnO}_2^-$ ,  $\text{ZnO}_2^{2-}$  (ψευδαργυρικά ανιόντα)



### 1.1.1.δ. Σχηματισμός συμπλόκων ιόντων

- Τα ιόντα  $\text{Zn}^{2+}$  σε υδατικά διαλύματα υφίστανται ως άχρωμα εφυδατωμένα σύμπλοκα του τύπου  $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ .

- Ο  $\text{Zn}(\text{II})$  σχηματίζει σύμπλοκα με την  $\text{NH}_3$  (χαρακτηριστική διαφορά από τα  $\text{Al}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cr}$ ):



## 1.2 Ιστορική αναδρομή ανακάλυψης Ψευδάργυρου

Ο ορυκτός ψευδάργυρος χρησιμοποιείτο για την παραγωγή ορείχαλκου πριν το 700μ.Χ. Μέχρι και σήμερα είναι άγνωστο το πώς οι αρχαίοι πολιτισμοί κατάφεραν να αναμείξουν αυτό το ορυκτό με τον χαλκό. Πιθανολογείται ότι οι μεταλλωρύχοι της εποχής εκείνης εντυπωσιάστηκαν από αυτό το ορυκτό λόγω της εκθαμβωτικής του λάμψης για τα τότε δεδομένα.

Αρχικά ο ψευδάργυρος απομονώθηκε από τις άλλες προσμείξεις κυρίως στις αρχές του 14<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ από τους Κινέζους και τους Ινδιάνους. Στον δυτικό κόσμο ο ψευδάργυρος ήταν ένα παραπεταμένο μέταλλο μετά την κατεργασία του μολύβδου. Το μέταλλο αυτό θεωρείτο περισσότερο ως ένα άχρηστο μέταλλο παρά ως ένα χρήσιμο παραπροϊόν. Ο πρώτος που ονόμασε αυτό το καινούργιο μέταλλο ήταν ο χημικός Paracelsus.

Η γυαλάδα αυτού του ορυκτού κίνησε το ενδιαφέρον στους αλχημιστές της εποχής εκείνης αλλά και χημικούς που πίστευαν ότι μπορούν να παράγουν χρυσό με άλλες προσθήκες. Με αυτό τον τρόπο κατάφεραν να παράγουν τελικά τον ορείχαλκο που περιέχει κυρίως χαλκό. Περίπου το 1374, ο ψευδάργυρος αναγνωρίστηκε στην Ινδία ως ένα νέο μέταλλο τόσο ως μέταλλο ψευδαργύρου αλλά και ως οξειδίο του ,που παρήχθησαν από τον 12ο έως τον 16ο αιώνα. Από την Ινδία, ο ψευδάργυρος κινήθηκε προς την Κίνα στο 17<sup>ο</sup> αιώνα. Ακόμη, ο Ψευδάργυρος αναγνωρίζεται ως ξεχωριστό μέταλλο στην Αγγλία το 1546 και το 1743 και η πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που δημιούργησε χυτήριο ψευδαργύρου.

Μεταλλεύματα που περιέχουν ψευδάργυρο είναι ευρέως διαδεδομένα και πολλοί φορείς μεταλλεύματος περιμένουν ακόμη την ανάπτυξη του στα επόμενα χρόνια. Τα κοιτάσματα ψευδαργύρου είναι μεταλλεύματα που συνήθως βρέθηκαν σε συνδυασμό με εκείνα του μολύβδου, του χαλκού, χρυσού, αργύρου, καθώς και άλλα μέταλλα. Σπάνια τα μεταλλεύματα είναι αρκετά πλούσια για να χρησιμοποιηθούν άμεσα από χυτήρια.

### **1.2.1. Εξόρυξη Ψευδαργύρου**

Τα μεταλλεύματα του ψευδάργυρου αποτελούν αντικείμενο εξόρυξης σε περισσότερες από 50 χώρες με την Αυστραλία, τον Καναδά, την Κίνα, το Περού και τις ΗΠΑ να είναι από τους κορυφαίους παραγωγούς. Λόγω της φύσης των φλεβών μεταλλεύματος, τα περισσότερα ορυχεία ψευδαργύρου είναι υπόγεια, αλλά κάποια νέα ορυχεία είναι του επιφανειακού τύπου. Εκτιμάται ότι η υπόγεια εξόρυξη γίνεται κατά 80% από τα επιφανειακά ορυχεία ψευδαργύρου, το 8% ως ανοιχτό λάκκο, ενώ το υπόλοιπο είναι συνδυασμός των υπόγειων ορυχείων και επιφανειακών ορυχείων. Όσον αφορά τον όγκο της παραγωγής, στα επιφανειακά ορυχεία ανέρχεται στο 15% ενώ στα υπόγεια ορυχεία ανέρχεται στο 64%. Το 21% της παραγωγής ορυχείων προέρχεται από το συνδυασμό των υπόγειων και επιφανειακών ορυχείων.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ψευδαργύρου είναι ο εμπλουτισμένος ψευδαργύρος, που είναι το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας επίπλευσης, εν συνεχεία στο μέταλλευμα ακολουθεί η διαδικασία εξόρυξης και άλεσης. Το καθαρό μέταλλευμα ψευδάργυρου περιέχει ψευδάργυρο σε ποσοστό από 1-15%, ενώ το εμπλουτισμένο μέταλλευμα ψευδαργύρου περιέχει περίπου το 55% σε ψευδάργυρο, με σίδηρο 6,5% και το 32% του θείου συνδυάζοντας και άλλα στοιχεία σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα.

Η διαδικασία παραγωγής ψευδαργύρου γίνεται ως εξής: το εμπλουτισμένο αρχίζει μέταλλευμα θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου 950 ° C όπου και πραγματοποιείται οξείδωση του ψευδαργύρου, του σιδήρου και του θείου. Το θείο συλλέγεται ως SO<sub>2</sub> και χρησιμοποιείται για να κάνει ενώσεις θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Ο σίδηρος και τα οξείδια του ψευδαργύρου μετά την παραπάνω διαδικασία, έχουν εμφανιστεί σε μορφή σκόνης κατόπιν πραγματοποιείται καθαρισμός με αραιό θειικό οξύ. Το διάλυμα εξουδετερώνει τα παραπάνω οξείδια και το ίζημα του μετάλλου μαζί με τυχόν ανεπιθύμητες προσμείξεις, απομακρύνονται με την μέθοδο της διήθησης.

Η τελική διαδικασία λαμβάνει χώρα στο χυτήριο όπου ο ψευδάργυρος παίρνει τη μορφή του τελικού, είτε ως μέταλλο καθαρότητας 99,95% ή ως κράμα μαζί με χαλκό, αλουμίνιο ή μαγνήσιο. Ο ψευδάργυρος που απορρίπτεται σε διάφορες μορφές (συνήθως πλινθώματα ή πλάκες), έχει βάρος που κινείται στις τιμές των 9 kg έως και 4 τόνων.

### 1.3 Γενικά στοιχεία Ψευδαργύρου

Το χημικό στοιχείο **Ψευδάργυρος** είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 30 και ατομικό βάρος 65,38gr . Έχει θερμοκρασία τήξης 419,58 C° και θερμοκρασία βρασμού 907 C°. Το σύμβολό του είναι **Zn**. Είναι γνωστός επίσης και ως *σίγκκος*, από το γερμανικό zink (αγγλικά zinc, ιταλικά zinco).

Ο ψευδάργυρος, είναι ένα γαλαζωπό-άσπρο, λαμπερό, διαμαγνητικό μέταλλο, με εξαγωνική κρυσταλλική δομή . Ο διαμαγνητισμός είναι μία εξ επαγωγής μαγνήτιση με φορά αντίθετη προς εκείνη του μαγνητικού πεδίου. Αυτό σημαίνει ότι διαμαγνητικό υλικό, όταν βρεθεί κοντά σε ένα βόρειο ή νότιο μαγνητικό πόλο, δημιουργεί εξ επαγωγής βόρειο ή νότιο μαγνητικό πόλο αντίστοιχα, με συνέπεια όλα τα διαμαγνητικά υλικά να απωθούνται από μαγνητικά πεδία. Τα διαμαγνητικά υλικά (που είναι και τα περισσότερα) δημιουργούν μαγνητικό πεδίο παράλληλο, αλλά αντίθετης φοράς (άπωση) με το επαγωγικό, με συντελεστή μαγνητίσεως  $\mu < 1$ .

Ο μεταλλικός ψευδάργυρος είναι σκληρός και εύθραυστος στις περισσότερες θερμοκρασίες αλλά γίνεται ελατός μεταξύ 100 και 150 °C. Άνω των 210 °C, το μέταλλο γίνεται εύθραυστο πάλι και μπορεί να καταστραφεί με ένα χτύπημα. Ο ψευδάργυρος είναι ένας καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Για μέταλλο, ο ψευδάργυρος έχει σχετικά χαμηλό σημείο τήξης (~420 °C) και βρασμού (~900 °C).



Πολλά κράματα περιέχουν ψευδάργυρο, συμπεριλαμβανομένου του ορείχαλκου, ένα κράμα ψευδάργυρου και χαλκού. Άλλα μέταλλα που είναι γνωστό ότι σχηματίζουν κράματα με τον ψευδάργυρο είναι το αλουμίνιο, το αντιμόνιο, το βισμούθιο, ο χρυσός, ο σίδηρος, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, ο άργυρος, ο κασσίτερος, το μαγνήσιο, το κοβάλτιο, το νικέλιο, το τελλούριο και το νάτριο. Ενώ ούτε ο ψευδάργυρος ούτε το ζirkόνιο δεν είναι σιδηρομαγνητικά μέταλλα, το κράμα τους  $ZrZn_2$  παρουσιάζει σιδηρομαγνητισμό κάτω από 35 (K). Ο ψευδάργυρος δεν αποτελεί σιδηρομαγνητικό υλικό διότι το μαγνητικό πεδίο των ατόμων του υλικού δεν είναι προσανατολισμένο. Αυτές οι περιοχές ονομάζονται περιοχές Weiss και κάθε μια αποτελεί ένα μικροσκοπικό μαγνήτη. Όταν οι περιοχές Weiss του σιδηρομαγνητικού υλικού είναι προσανατολισμένες στην ίδια διεύθυνση, τότε το υλικό έχει τα χαρακτηριστικά ενός μαγνήτη. Αν οι περιοχές Weiss είναι τυχαία προσανατολισμένες, τότε το υλικό δεν παρουσιάζει μακροσκοπικά μαγνητικό πεδίο και εμφανίζεται αμαγνήτιστο.

Ο ψευδάργυρος αποτελεί περίπου 75 ppm της επιφάνειας της γης, κάνοντάς τον το 24ο αφθονότερο στοιχείο σε αυτή. Το χώμα περιέχει 5-770 ppm ψευδάργυρου με έναν μέσο όρο 64 ppm. Το νερό της θάλασσας έχει μόνο 30 ppb ψευδαργύρου και η ατμόσφαιρα περιέχει 0.1-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στα μεταλλεύματα το στοιχείο βρίσκεται κανονικά σε συνδυασμό με άλλα μέταλλα όπως ο χαλκός και ο μόλυβδος. Ο ψευδάργυρος έχει χαμηλή έλξη με το οξυγόνο και “προτιμά” να ενωθεί με το θείο σε εξαιρετικά αδιάλυτα σουλφίδια. Ο σφαλερίτης, που είναι μια μορφή σουλφιδίων του ψευδάργυρου, είναι το ορυκτό του μετάλλου αυτού στο οποίο υπάρχει ο ψευδάργυρος σε μεγαλύτερη συγκέντρωση, καθώς περιέχει ψευδάργυρο σε ποσοστό 60-62%.

Άλλα μεταλλεύματα, από τα οποία εξάγεται ο ψευδάργυρος περιλαμβάνουν το σμιθσονίτη (ανθρακικός ψευδάργυρος  $ZnCO_3$ ) και τον ημιμορφίτη (πυριτικό άλας ψευδάργυρου). Αυτά τα δύο μεταλλεύματα διαμορφώθηκαν ως

αποτέλεσμα διαδικασιών διάβρωσης σε σουλφίδια ψευδάργυρου στα αρχέγονα χρόνια.

#### 1.4. Ιδιότητες Ψευδαργύρου

##### Μηχανικές Ιδιότητες

	<b>Zinc</b>
Οριο Διαρροής	108GPa
Λογος Poissons	0.25
Shear Modulus (GPa)	43
Σκληρότητα (HVN)	75

##### Φυσικές Ιδιότητες

<b>ALLOY</b>	<b>Zinc</b>
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	7.14
Σημείο τήξης (C)	419.53
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (nΩ x m)	59
Συντελεστής θερμική διαστολής (25C°)(μm/mK)	30.2

##### Κατεργασιμότητα

Τα κράματα ψευδαργύρου έχουν εξαιρετική ικανότητα κατεργασιμότητας που σημαίνει ότι είναι γρήγορο, αποδοτικό και με μεγάλο χρόνο ζωής. Τα κράματα ψευδαργύρου αποτελούν πλέον μία από τις πρώτες επιλογές στην βιομηχανική αγορά και αυτό οφείλεται σε τρεις κυρίως λόγους που αναφέρονται στην συνέχεια.

- 1 **Η ικανότητα τους να δημιουργούν δύσκολα σχήματα.** Η ικανότητα τους αυτή οφείλεται στο ότι συμπεριφέρονται αν και μέταλλα σαν θερμοπλαστικά υλικά. Ένα επιπλέον προνόμιο είναι ότι τα πολύπλοκα αυτά σχήματα πραγματοποιούνται με σχετικά χαμηλό κόστος.

- 2 **Εξαιρετικό φινίρισμα επιφανείας.** Το φινίρισμα σε εξαρτήματα κραμάτων ψευδαργύρου δεν συγκρίνεται με οποιοδήποτε άλλο κράμα. Τα ηλεκτροαποτιθέμενα φινιρίσματα των κραμάτων αυτών μπορούν να υπερβούν τις αισθητικές ιδιότητες θερμοπλαστικών που χρησιμοποιούνταν για ανάλογη εφαρμογή, παρέχοντας παράλληλα μια μηχανική αντοχή αντίστοιχη του μετάλλου.
- 3 **Χαμηλό κόστος και σχετικά υψηλές μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με άλλα παρόμοια υλικά.** Παρόλο που τα κράματα ψευδαργύρου είναι σχετικώς ακριβά, η διαδικασία διαμόρφωσής τους χρησιμοποιεί μικρή ποσότητα μετάλλου. Επιπρόσθετα τα χυτά κράματα ψευδαργύρου έχουν χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλα κράματα διότι παράγονται κράματα χαμηλής φθοράς λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας χύτευσης.

## 1.5 Χρήσεις Ψευδαργύρου

Ο Ψευδάργυρος χρησιμοποιείται ευρύτατα σε οικοδομικές και ηλεκτρολογικές εφαρμογές, ως «θυσιαζόμενο» ηλεκτρόδιο για την προστασία από τη διάβρωση σε μεταλλικές κατασκευές. Επίσης, χρησιμοποιείται ως επικαλυπτικό υλικό λαμαρινών για την προστασία από διάβρωση (γαλβανισμένες και επιψευδαργυρωμένες λαμαρίνες).

Γαλβανισμός του χάλυβα προϋποθέτει την εφαρμογή λεπτής επίστρωσης ψευδαργύρου σε όλες τις εκτεθειμένες επιφάνειες του χάλυβα για την προστασία από το φαινόμενο της διάβρωσης. Ο Ψευδάργυρος προσφέρει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Όταν ο ψευδάργυρος είναι επικαλυμμένος στην επιφάνεια του χάλυβα, απελευθερώνει τα ηλεκτρόνια του δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα οξειδίου, αφήνοντας ανέπαφη την επιφάνεια του χάλυβα. Η εφαρμογή της επίστρωσης ψευδαργύρου επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση του χάλυβα σε λιωμένο ψευδάργυρο ή με την

ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση του χάλυβα με ψευδάργυρο, όπως και επιχρωμίωση.

Η ταχύτητα διάβρωσης των επιψευδαργυρώσεων σε βιομηχανικές περιοχές είναι περίπου 5.6 μm το χρόνο, σε αστικές περιοχές 1.5 μm το χρόνο, ενώ σε αγροτικές περιοχές 0.8μm το χρόνο. Το πάχος των επιψευδαργυρώσεων μεταβάλλεται, συνεπώς, ανάλογα με τη χρήση των αντικειμένων και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθενται και κυμαίνεται από 5 έως 40 μm. Η αντοχή των επιψευδαργυρωμένων επιφανειών στη διάβρωση αυξάνεται σημαντικά αν παθητικοποιηθούν με εμβάπτιση σε χρωμικά ή φωσφορικά διαλύματα. Ο θερμός γαλβανισμός (εμβάπτιση σε τηγμένο μέταλλο) χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στη βιομηχανική παρασκευή κατασκευαστικών, βιομηχανικών και οικιακών υλικών, τα οποία χρειάζονται ισχυρή επίστρωση μετάλλου. Όταν, όμως, απαιτείται να καλυφθούν ενώσεις, συγκολλήσεις, ή λεπτές και μικρές κατασκευές - και ιδιαίτερα όπου υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές σχετικά με τις διαστάσεις- η ηλεκτρολυτική επιψευδαργύρωση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Η επιψευδαργύρωση δίνει εύκολα ομοιόμορφες αποθέσεις και δεν καλύπτει εσοχές ή τρύπες για βίδες κλπ. Σε μικρές κατασκευές, η ηλεκτρολυτική επιψευδαργύρωση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους εφαρμογής της, σε σύγκριση με το θερμό γαλβανισμό. Ο ψευδάργυρος αποτίθεται ηλεκτρολυτικά από αλκαλικά κυανιούχα ή από όξινα θειικά λουτρά. Ακόμα, ως ηλεκτρολυτικά λουτρά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διαλύματα πυροφωσφορικών ή φθοριοβορικών αλάτων.

Η καθοδική προστασία της χαλύβδινης επιφάνειας που προσφέρεται μέσω της διάτρησης του προστατευτικού στρώματος του ψευδαργύρου. Όπως αναφέρθηκε, η διάβρωση των μετάλλων είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία μεταξύ δύο διαφορετικών περιοχών της επιφάνειας, οι οποίες συμπεριφέρονται ως άνοδος και ως κάθοδος αντίστοιχα. Ροή ηλεκτρονίων λαμβάνει χώρα μεταξύ τέτοιων περιοχών με αποτέλεσμα την αποσύνθεση της

ανόδου και την προστασία της κάθοδου. Στην περίπτωση του στρώματος ψευδαργύρου πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα, ο ψευδάργυρος αποτελεί την άνοδο που τείνει να διαλυτοποιηθεί όταν έρχεται σε επαφή με το νερό, ενώ η καθοδική επιφάνεια του χάλυβα προστατεύεται από τη διάβρωση (κανόνας της Θυσιαζόμενης ανόδου). Αν η απόσταση μεταξύ της ανοδικής και της καθοδικής περιοχής υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή, τότε θα λάβει χώρα κανονική διάβρωση του χάλυβα.

Τα ιόντα ψευδαργύρου σχηματίζουν προστατευτικά άλατα τα οποία γεμίζουν τους πόρους της χαλύβδινης επιφάνειας μέχρι μια ορισμένη απόσταση από την άνοδο ψευδαργύρου. Ο παραπάνω μηχανισμός παρουσιάζεται όταν ένα έλασμα γαλβανισμένου χάλυβα χαραχθεί με επεξεργασία με οξύ έτσι ώστε να σχηματιστεί ένας σταυρός εκτεθειμένου. Μετά από 10 μήνες φυσικής αποσάθρωσης, ο ψευδάργυρος προστατεύει τις στενές ζώνες χάλυβα αλλά στο κέντρο του σταυρού η καθοδική προστασία αποτυγχάνει.

Είναι προφανές ότι στις χαλύβδινες επιφάνειες που καλύπτονται με ψευδάργυρο, η καθοδική προστασία θα εμποδίσει τη δημιουργία σκουριάς στο υπόστρωμα του χάλυβα σε αντίθεση με το τι μπορεί να συμβεί στο χάλυβα στην περίπτωση εφαρμογής οργανικών επιστρωμάτων με ελαττωματικές περιοχές. Η ροή των ηλεκτρονίων μεταξύ της ανόδου ψευδαργύρου και της καθόδου του χάλυβα θα οδηγήσει στη διάλυση του ψευδαργύρου μέχρι, τελικά, να χρησιμοποιηθεί όλος ο ψευδάργυρος και η προστατευτική δράση να σταματήσει.

Το ποσό του ψευδαργύρου που έχει διαλυθεί είναι ανάλογο προς το ποσό του ρεύματος που έχει περάσει μεταξύ του ψευδαργύρου και του χάλυβα. Το ρεύμα που μπορεί να περάσει, θα εξαρτηθεί από την ηλεκτρική αντίσταση του κυκλώματος και την επιφάνεια του εκτεθειμένου χάλυβα. "Έτσι, όταν η διάβρωση αρχίζει σε ένα σημείο, υπάρχει περιορισμός ως προς το χρονικό διάστημα στο οποίο μπορεί να προσφερθεί προστασία.

Ο ψευδάργυρος είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και παρουσιάζει μικρή αντίσταση σε μια υπερβολική ροή ρεύματος (ηλεκτρονίων). Απ'την άλλη μεριά, επειδή το Θαλασσινό νερό είναι πολύ καλύτερος αγωγός από το γλυκό (πόσιμο) νερό, για να προσφερθεί μια μακροχρόνια προστασία μπορεί να είναι καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί ένα στρώμα χρώματος ψευδαργύρου που έχει σχετικά μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, αντί μιας στρώσης μεταλλικού ψευδαργύρου. Αυτός είναι ο λόγος που τα πλούσια σε ψευδάργυρο πυριτικά επιστρώματα προτιμούνται στις παραθαλάσσιες κατασκευές.

Ψευδάργυρος, ως ένωση που χρησιμοποιείται σε φαρμακευτικά προϊόντα, καουτσούκ, των καλλυντικών, χρωμάτων, και κεραμικά γάνωμα. Άλλες ενώσεις χρήση του ψευδαργύρου σε **καθοδικές λυχνίες**, συγκόλληση ροής, και τα συντηρητικά ξύλου.

### **1.5.1. Χρήσεις κατά της διάβρωσης**

Ο ψευδάργυρος συνήθως χρησιμοποιείται ως αντιδιαβρωτικός παράγοντας. Η επικάλυψη με ψευδάργυρο, που χρησιμοποιείται στο σίδηρο ή το χάλυβα για να προστατεύσει τα μέταλλα από τη διάβρωση, είναι η πιο γνωστή μορφή που χρησιμοποιείται ο ψευδάργυρος κατά αυτόν τον τρόπο. Το 2006 στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 56% (773 κιλोटόνοι) του μεταλλικού ψευδαργύρου χρησιμοποιήθηκε για αυτού του είδους την επικάλυψη, ενώ παγκοσμίως το 47% χρησιμοποιήθηκε για αυτόν το λόγο.

### **1.5.2. Μπαταρίες**

Ο ψευδάργυρος, έχοντας σταθερό ηλεκτροδιακό δυναμικό σε συναρτηση με το ηλεκτρόδιο αναφοράς του Υδρογόνου (  $-0.76V$ ), χρησιμοποιείται ως υλικό

ανόδων για τις μπαταρίες (το λίθιο που είναι περισσότερο δραστικό χρησιμοποιείται για τις ανόδους στις μπαταρίες λιθίου). Ο κονιοποιημένος ψευδάργυρος χρησιμοποιείται κατά αυτόν τον τρόπο στις αλκαλικές μπαταρίες και τα φύλλα του μεταλλικού ψευδαργύρου διαμορφώνουν τις περιπτώσεις για την άνοδο και λειτουργούν ως άνοδοι στις μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα.

## **1.6 Κράματα Ψευδαργύρου**

Ένα κράμα που χρησιμοποιείται ευρέως και περιέχει ψευδάργυρο είναι ο ορείχαλκος, στον οποίο ο χαλκός αναμιγνύεται με ένα ποσοστό μεταξύ 3% και 45% ψευδαργύρου, ανάλογα με τον τύπο του ορείχαλκου. Ο ορείχαλκος είναι γενικά πιο όλκιμος και ισχυρότερος από το χαλκό και έχει ανώτερη αντίσταση στη διάβρωση. Αυτές οι ιδιότητες τον καθιστούν χρήσιμο στον εξοπλισμό επικοινωνίας, το υλικό μέρος του υπολογιστή (hardware), τα μουσικά όργανα, και τις βαλβίδες νερού.

Τα κράματα του ψευδαργύρου με το μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον είναι τα κράματα Zn-Al, γνωστά με την εμπορική ονομασία Zamac. Τα κράματα αυτά έχουν πολύ καλή ρευστότητα και γι' αυτόν κυρίως το λόγο κατασκευάζονται με χύτευση. Αυτά χρησιμοποιούνται ως εξαρτήματα πλυντηρίων, ραδιοφώνων, παιχνιδιών, χειρολαβών, πλαισίων, κ.λπ. Τα κράματα Zamac περιέχουν γύρω στο 4% αλουμίνιο που είναι και τα πιο συνηθισμένα. Στην συνέχεια ακολουθούν τα κράματα που περιέχουν εκτός από αλουμίνιο και χαμηλό ποσοστό χαλκού, ο οποίος και τα κάνει σκληρότερα από αυτά με χωρίς χαλκό. Η προσθήκη αλουμινίου 4% δημιουργεί ένα κράμα παραπλήσιο στο ευτηκτικό κράμα Zn/Al με 5%Al το οποίο μειώνει την θερμοκρασία τήξης από τους 419°C στους 382 °C και ταυτόχρονα αυξάνει αισθητά την μηχανική αντοχή.

Τα υπερευτηκτοειδή κράματα ψευδαργύρου-αλουμινίου περιεκτικότητας 8, 12 και 27% Al παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή και σκληρότητα που αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό αλουμινίου. Τα κράματα ZA27 μπορούν να φτάσουν τα 440MPa, τιμή η οποία είναι υψηλότερη από τα κράματα αλουμινίου και μαγνησίου ακόμα και μετά από θερμικές κατεργασίες. Η θερμοκρασία ζέσεως για το προηγούμενο κράμα είναι 550°C. Το φαινόμενο του μικρο κα μακρο διαφωρισμού που σχετίζεται άμεσα με την χύτευση και στερεοποίηση των κραμάτων ψευδαργύρου μπορεί να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα. Τα κράματα ZA27 αρχίζουν την ομογενοποίηση τους με υγρό αλουμίνιο της τάξης του 27% το οποίο τελικά καταλήγει να περιέχει 5% αλουμίνιο. Αυτή η έντονη διαφορά στο ποσοστό αλουμινίου οδηγεί στην δημιουργία δενδριτικής δομής η οποία συνήθως προϋποθέτει ομογενοποίηση του κράματος που περιορίζει την εμφάνιση αυτή της δενδριτικής δομής.

Ο σουπερπλαστικός ψευδάργυρος δεν θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στα χυτά κράματα ψευδαργύρου διότι προϋποθέτει συγκεκριμένη θερμική κατεργασία για να μειωθεί το μέγεθος των κόκκων πριν αναπτύξει όλες τις σουπερπλαστικές ιδιότητες. Το εκπληκτικό ποσοστό των 1000% παραμόρφωσης το οποίο μπορούν να φτάσουν αυτά τα κράματα περιορίζεται από μακροσκοπικής σκοπιάς λόγω των έντονων οξειδίων που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της χύτευσης και της στερεοποίησης. Αυτού του είδους τα κράματα είναι παρεμφερή με κάποια άλλα κράματα ψευδαργύρου τα οποία πραγματοποιώντας μια θερμική κατεργασία μπορούν να αποκτήσουν κάποια από τα πλεονεκτήματα των σουπερπλαστικών όπως την σκληρότητα.

Ένα από τα βασικά προβλήματα των κραμάτων ψευδαργύρου είναι η μικρή αντοχή τους σε ερπυσμό. Σε θερμοκρασία μεταξύ των 100 – 150°C υπάρχει πρόβλημα στις αυτοκινητοβιομηχανίες και συγκεκριμένα στις μηχανή τα διαχωριστικά τμήματα. Οι ερευνητές της General Motors κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα κράματα ψευδαργύρου με υψηλό ποσοστό χαλκού βελτιώνει την αντοχή σε ερπυσμό των κραμάτων αυτών.



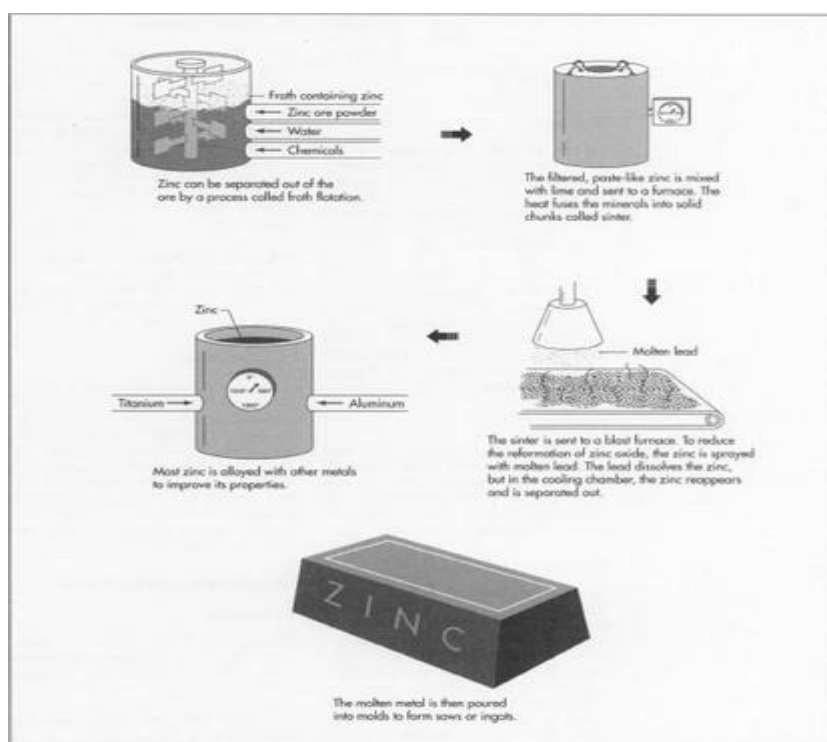
## 1.7 Η Βιομηχανική Διεργασία

### 1.7.1. Εξόρυξη

- Τα μεταλλεύματα, εμφανίζονται ως θειούχος ψευδαργύρος (ονομάζεται επίσης Σφαλερίτης), ανθρακικός ψευδάργυρος (Σμιθσονίτης), ψευδάργυρος πυριτικός (calimine), καθώς και σε ενώσεις του μαγγανίου και **σιδήρου** (franklinite). Ο Ψευδάργυρος εξορύσσεται μερικές φορές σε συνδυασμό με ασημί ή **μολύβδου** μεταλλευμάτων. Και την ηλεκτρική ενέργεια, οπτάνθρακα, ή το φυσικό αέριο είναι απαραίτητες για την παροχή θερμικής ενέργειας για την τήξη.

### 1.7.2. Αφρός επίπλευση

- Ο ψευδάργυρος μπορεί να παραχθεί με μια διαδικασία που ονομάζεται αφρός επίπλευση, η οποία χρησιμοποιείται επίσης για τη μείωση του χαλκού και του μολύβδου. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει λειοτρίβηση του ψευδάργυρου σε μια λεπτή σκόνη, αναμειγνύοντάς την με νερό, έλαιο πεύκου.



Αυτόματοι αποξέστες αφαιρούν το μεταλλικό-φορτωμένο αφρό που περιέχει το ψευδάργυρο.

### **1.7.3. Τήξης**

- Η επόμενη διαδικασία χρησιμοποιεί μια υψικάμινο για την τήξη του μεταλλεύματος. Η υψικάμινος τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια, οπτάνθρακα, ή φυσικού αερίου, οι οποίες παράγουν θερμοκρασίες μέχρι 1204 ° C. Αυτό, όμως, παράγει επίσης διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αναμειγνύεται με ψευδάργυρο για να σχηματίσουν οξείδιο του ψευδαργύρου-εκ νέου. Για να μειωθεί αυτή η αναμόρφωση, ο ψευδάργυρος έχει ψεκαστεί με το λιωμένο μολύβδου, ενώ είναι ακόμα ζεστός. Σε θερμοκρασία των 440 ° C , το ελαφρύτερο στοιχείο που είναι ο ψευδάργυρος διαχωρίζεται από το μολύβδο και αποστραγγίζεται.

### **1.7.4. Κραματοποίηση**

- Οι περισσότεροι ψευδάργυρο είναι κράματα με άλλα μέταλλα πριν από τη χρήση για να βελτιώσουν τις ιδιότητές του. Κραματοποίηση περιλαμβάνει νέα τήξη και ανάμειξη του ψευδαργύρου με άλλα μέταλλα, σε ακριβείς αναλογίες. Για παράδειγμα, περίπου το 4% από αλουμίνιο, προστίθεται στη βελτίωση της ποιότητας χύτευση και πεθαίνουν στη ζωή-casting διαδικασία πεθαίνουν. Άλλα προστίθενται τα κράματα είναι μικρές ποσότητες τιτανίου, χαλκού και μαγνησίου. Μετά την κραματοποίηση, το λιωμένο μέταλλο χύνεται σε καλούπια και σπέρνουν τις μήτρες χελωνών. Χοιρομητέρες μπορεί να ζυγίσει αρκετές χιλιάδες λίρες, ενώ πλινθώματα ζυγίζουν περίπου £ 45 (20 κιλά).

### **1.7.5. Ποιοτικός έλεγχος**

Τα κράματα επιθεωρούνται από μια διαδικασία που ονομάζεται Spectrographic ανάλυση. Το μέταλλο καίγεται με ένα προστατευτικό κάλυμμα χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό τόξο. Το φως που εκπέμπεται από την καύση του μετάλλου περνά από μια συσκευή σαν ένα πρίσμα, που σπάει το φως σε όλα τα χρώματα του ατόμου. Κάθε στοιχείο έχει ένα διαφορετικό σύνολο χρωμάτων, ή φάσματος, τα οποία είναι σαν ένα δακτυλικό αποτύπωμα. Οποιαδήποτε ξένη ύλη θα μεταβάλει το φάσμα τους, και με αυτό τον τρόπο προκύπτει το φάσμα με χρώμα μοναδικό που προσδιορίζει το κάθε μέταλλο. Ο υπολογιστής στον φασματογράφο χρησιμοποιεί αισθητήρες για να πάρει αυτά τα χρώματα. Το πρόγραμμα του ηλεκτρονικού υπολογιστή, στη συνέχεια παράγει μια εκτύπωση που προσδιορίζει κάθε στοιχείο του φάσματος και της συγκέντρωσης στο μέταλλο.

### **1.7.6. Επίδραση στο περιβάλλον**

Η παραγωγή για τα σουλφιδικά μεταλλεύματα ψευδάργυρου παράγει μεγάλα ποσά διοξειδίου του θείου ( $SO_2$ ) και κάδμιο σε αέρια μορφή. Η σκουριά των χυτηρίων και άλλα υπολείμματα της διαδικασίας περιέχουν επίσης σημαντικές ποσότητες βαριών μετάλλων. Περίπου 1.1 μεγατόνοι (1 μεγατόνος = 1.000.000 τόνοι) μεταλλικού ψευδάργυρου και 130 κιλοτόνοι (1 κιλοτόνος = 1.000 τόνοι) μολύβδου εξήχθησαν και τήχθηκαν στις βελγικές πόλεις La Calamine και Plombières μεταξύ 1806 και 1882. Τα απόβλητα προηγούμενων διαδικασιών μεταλλείας αφήνουν στο περιβάλλον σημαντικά ποσά ψευδάργυρου και καδμίου, και, κατά συνέπεια, ο πυθμένας του ποταμού Geul περιέχει σημαντικές ποσότητες βαριών μετάλλων. Περίπου δύο χιλιάδες χρόνια πριν, εκπομπές ψευδάργυρου από τη μεταλλεία και το λιώσιμο των μεταλλευμάτων για το διαχωρισμό τους παρείχαν συνολικά 10 κιλοτόνους ετησίως. Αφού αυξήθηκε 10 φορές από το 1850, οι εκπομπές ψευδάργυρου αυξήθηκαν σε 3.4 μεγατόνους το χρόνο στη δεκαετία του '80 και μειώθηκαν σε 2.7 μεγατόνους στη δεκαετία του '90, αν και μια μελέτη του 2005 της αρκτικής τροπόσφαιρας διαπίστωσε ότι οι συγκεντρώσεις εκεί δεν

απεικόνιζαν τη μείωση. Οι ανθρωπογενείς και φυσικές εκπομπές εμφανίζονται σε μια αναλογία 20 προς 1 αντίστοιχα

### **1.7.7. Το Μέλλον**

Τα κράματα ψευδαργύρου λόγω της ισχύς άλλα και του σχετικά μικρού βάρους, χρησιμοποιείται από την αυτοκινητοβιομηχανία ως χυτό κράμα. Υλικά όπως το μαγνήσιο, το αλουμίνιο αλλά και τα πλαστικά έχουν αντικαταστήσει εφαρμογές των κραμάτων του ψευδαργύρου. Η χρήση των γαλβανισμένων μερών του αυτοκινήτου. Πολλά μεταφορικά μέσα στις μέρες προστατεύονται από γαλβανισμένα μέταλλα, τα οποία δίνουν την δυνατότητα στον κατασκευαστή να προσφέρει εκτεταμένη εγγύηση σε προβλήματα που σχετίζονται με την διάβρωση των μετάλλων αλλά και στην αντοχή τους σε κρούση .

### **1.8 Κράματα Ψευδαργύρου**

Τα κράματα Ψευδαργύρου αποτελούνται κυρίως από αλουμίνιο και χαλκό γι' αυτό και έχει δημιουργηθεί το ακρωνύμιο Zamak. Το ακρωνύμιο αυτό προήλθε από τις Γερμανικές ονομασίες των στοιχείων του κράματος : *zink* (zinc), *aluminium*, *magnesium* and *kupfer* (copper). Το κράμα αυτό αποτελείται από 4% αλουμίνιο και η πρώτη βιομηχανία που παρήγαγε ένα τέτοιο κράμα ήταν η New Jersey Zinc Company το 1929. Τα κράματα ψευδαργύρου ήταν δημοφιλή με τον όρο pot metal ή λευκά μέταλλα, που σημαίνει μέταλλα με εύκολη χυτευσιμότητα, χαμηλό σημείο τήξης και αρκετά οικονομικά. Το Zamak όμως απαιτούσε υψηλές προδιαγραφές για την παραγωγή του.



Τα πιο δημοφιλή κράματα ψευδαργύρου είναι το zamak 3 όμως κράματα όπως zamak 2, zamak 5 και zamak 7 εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στην αγορά και να υπάρχει ζήτηση στις διεθνείς αγορές. Αυτά τα κράματα χυτεύονται με την μέθοδο της χύτευσης υπό πίεση αλλά και σε κάποιες άλλες περιπτώσεις με την μέθοδο της φυγόκεντρου χύτευσης.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που εμφανίστηκε κατά την διάρκεια της χύτευσης υπό πίεση ήταν ο 'μπελάς του ψευδαργύρου' (zinc pest) που σχετιζόταν με τα διάφορα υπολείμματα άλλων μεταλλικών στοιχείων. Συγκεκριμένα το φαινόμενο αυτό προκαλεί έντονη διάβρωση λόγω των υπολειμμάτων μολύβδου μέσα στο κράμα. Επηρεάζει το πρώτα στάδια χύτευσης υπό πίεση που παρήχθησαν στις δεκαετίες του 30, 40 και 50. Παρόλο που τα υπολείμματα μολύβδου δημιουργούσαν το φαινόμενο της διάβρωσης, παράγοντες όπως η υγρασία επιτάχυναν την όλη διαδικασία του φαινομένου αυτού.



**Φαινόμενο Zinc pest**

Τα κράματα ψευδαργύρου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

A) Εύχυτα κράματα ψευδαργύρου

- Κράματα Zamak

B) Δύσχυτα κράματα Ψευδαργύρου.

- Zn-Pb
- Zn-Cd
- Zn-Cu

Ο ρόλος του κάθε στοιχείου στην χύτευση του ψευδαργύρου καθορίζεται στη συνέχεια αναφέροντας τα πιο χαρακτηριστικά χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παράγωγη κραμάτων ψευδαργύρου.

Το αλουμίνιο προστίθεται για να προσδώσει στο κράμα σκληρότητα, να μειώσει το μέγεθος των κόκκων , να βελτιώσει την χυτευσιμότητα και να ελαττώσει την επίθεση του λιωμένου κράματος ψευδαργύρου στον σίδηρο.

Το μαγνήσιο προστίθεται σε χαμηλό ποσοστό (0.01-0.3%) για την αποφυγή της περικρυσταλλικής διάβρωσης λόγω της παρουσίας μολύβδου και καδμίου. Αλλά σε μεγαλύτερα ποσοστά μειώνει την ρευστότητα και μειώνουν το όριο διαρροής (Pb < 0.003% and Sn < 0.001%).

Ο χαλκός μειώνει την επίδραση των υπολειμμάτων, βελτιώνει την αντοχή και την σκληρότητα. (Cu < 1% μειώνει την σκληρότητα και την ευθραυστότητα).

Τα πλεονεκτήματα των κραμάτων ψευδαργύρου είναι τα ακόλουθα :

- Έχει την ικανότητα να χυτεύεται σε υψηλούς ρυθμούς λόγω του σχετικά χαμηλού σημείου τήξεως (419° C).
- Έχει την ικανότητα να παράγει περίεργα σχήματα με υψηλή αντοχή και καλό επιφανειακό τελείωμα.

- Τα χυτά κράματα ψευδαργύρου μπορούν εύκολα να επεξεργαστούν , να γίνουν ακόμη και νομίσματα.
- Τα κράματα ψευδαργύρου μπορούν να συγκολληθούν και να συγκολλήσουν στην συναρμολόγηση μηχανημάτων.
- Έχουν σχετικά ικανοποιητική αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση και ειδικότερα σε διαλύματα που περιέχουν χρώμιο ( δημιουργούν ένα φιλμ προστατευτικό στην επιφάνεια)
- Χαμηλό κόστος συγκριτικά με τα κράματα του αλουμινίου και του χαλκού.

Τα μειονεκτήματα των κραμάτων ψευδαργύρου είναι :

- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε  $T_a > 95^\circ$  διότι χάνει την αντοχή του και την σκληρότητά του.
- Σχετικά υψηλή πυκνότητα(7.1 g.cm<sup>-3</sup>) σε σχέση με του αλουμινίου(2.7 g.cm<sup>-3</sup>) και του μαγνησίου(1.74 g.cm<sup>-3</sup>). και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου το βάρος είναι κρίσιμο χαρακτηριστικό στοιχείο.
- Η εξαγωνική δομή περιορίζει την πλαστική παραμόρφωση του ψευδαργύρου.