

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ  
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ***

**ΤΩΝ**

**ΦΑΡΛΕΚΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ & ΒΟΥΚΕΛΑΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ**

**επιβλέπων : Δρ. ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ ΜΑΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009**

# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

- 1.1 Εισαγωγή
- 1.2 Ορισμός διάβρωσης
- 1.3 Τα αίτια της διάβρωσης
- 1.4 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση
- 1.5 Τύποι της διάβρωσης στα μέταλλα
- 1.6 Προστασία από τη διάβρωση
- 1.7 Διάβρωση στα αυτοκίνητα

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΜΕΤΑΛΛΑ**

- 2.1 Η εσωτερική δομή των μετάλλων
- 2.2 Σιδηρούχα μέταλλα - χάλυβες
  - 2.2.1 Σίδηρος
  - 2.2.2 Χάλυβας

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ**

- 3.1 Ανοξειδωτοι χάλυβες κατάλληλοι για την κατασκευή αυτοκινήτων
- 3.2 Χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων για τις εξατμίσεις των επιβατικών αυτοκινήτων
- 3.3 Χάλυβες πολύ υψηλής αντοχής στην αυτοκινητοβιομηχανία
- 3.4 Διάβρωση ανθρακοχαλύβων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αυτοκινήτων
- 3.5 Η μελλοντική επανάσταση των χαλύβων υψηλής αντοχής στην αυτοκινητοβιομηχανία
- 3.6 Ανάπτυξη νέων χαλύβων ανθεκτικών στη διάβρωση

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

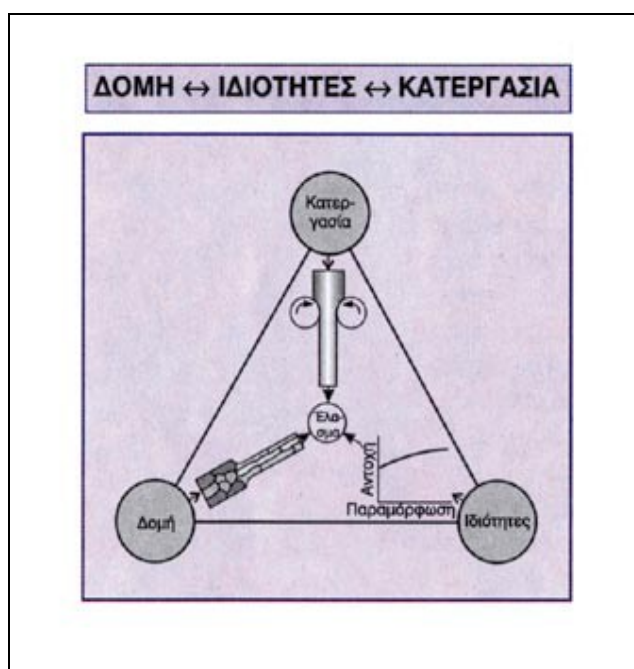


# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

## 1.1 Εισαγωγή

Η φθορά είναι ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των υλικών (μέταλλα, πολυμερή, κεραμικά, κλπ.) που εμφανίζεται με την πάροδο του χρόνου. Η επίδραση του περιβάλλοντος είναι μία εξωτερική παράμετρος που παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη φθορά ενός συγκεκριμένου υλικού. Η επίδραση π.χ. των ακτινοβολιών, ενώ θεωρείται αμελητέα στα μέταλλα, αποτελεί σημαντικό παράγοντα φθοράς στα πολυμερή (αποικοδόμηση πολυμερών).

Οι επιπτώσεις της φθοράς των υλικών από οικονομική άποψη είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Το 25% της παγκόσμιας παραγωγής του χάλυβα καταστρέφεται από τη φθορά του. Το ποσοστό αυτό αυξάνει έως το 40% επειδή σε πολλά ευαίσθητα εξαρτήματα (π.χ. στα ελάσματα πλοίων) η εμφάνιση φθοράς οδηγεί σε αντικατάσταση όλου του εξαρτήματος. Η σπανιότητα των πρώτων υλών και το υψηλό κόστος των επισκευών των υλικών που φθείρονται έδωσε τα τελευταία χρόνια ισχυρή ώθηση στη μελέτη των φαινομένων της φθοράς και στην ανάπτυξη των μεθόδων προστασίας των υλικών.



Φωτ. 1.1 Αλληλοεπίδραση μεταξύ δομής, ιδιοτήτων και κατεργασίας υλικού

## 1.2 Ορισμός Διάβρωσης

Με τον όρο **διάβρωση** εννοούμε την προοδευτική αποσύνθεση των υλικών (των εδαφών, των πετρωμάτων, της λάσπης αλλά και τεχνητών υλικών) με τη πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση παραγόντων του περιβάλλοντος, όπως του ανέμου, του νερού, του πάγου ή ακόμα και των ζωντανών οργανισμών (βιοδιάβρωση), εξ' αιτίας χημικών αντιδράσεων.

Κατά κύριο λόγο, ο όρος διάβρωση αναφέρεται τόσο σε μεταλλικά υλικά και κράματα μετάλλων, όσο και στα συστατικά του στερεού φλοιού της Γής, όχι όμως για άλλα υλικά (π.χ. δε συνηθίζεται να αναφέρεται για τον τρόπο με τον οποίο το ξύλο διαβρώνεται).

Η διάβρωση συμβαίνει συνεχώς στη φύση και τα αποτελέσματά της είναι ορατά σε μεταλλικές, και όχι μόνο, κατασκευές. Η βροχή, για παράδειγμα, μπορεί να διαβρώσει σιγά σιγά ένα μαρμάρινο άγαλμα. Αυτό συμβαίνει από τις διάφορες μικροποσότητες οξέων που περιέχονται στο νερό της βροχής, που αντιδρούν με ενώσεις του μαρμάρου σχηματίζοντας νέες ενώσεις σε μορφή σκόνης, γεγονός που συνεπάγεται τη φθορά.

Η πιο συνηθισμένη και γνωστή μορφή διάβρωσης είναι το σκούριασμα του σιδήρου, που είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης του σιδήρου με το οξυγόνο του αέρα με τη βοήθεια και της βροχής, όπου και εδώ η σκουριά παίρνει γρήγορα τη μορφή σκόνης. Ειδικά η λέξη σκουριά αναφέρεται σε σιδηρές κατασκευές (δε συνηθίζεται για παράδειγμα να αναφέρεται για τον τρόπο με τον οποίο “σκούριασε” ένα χάλκινο σκεύος, στις περιπτώσεις αυτές ο προτιμώμενος όρος είναι “**οξειδωση**”).

Το υλικό μαζί με το περιβάλλον του (ή διαβρωτικό μέσο) αποτελούν το διαβρωτικό σύστημα. Το διαβρωτικό μέσο μπορεί να είναι:

1. Αέρια μορφή (ατμοσφαιρικός αέρας με υγρασία ή όχι, καυσαέρια, άλλα αέρια κλπ.).
2. Υγρή μορφή (νερό φυσικό ή θαλασσινό ή αποχέτευσης ή βιομηχανικό, χημικό υγρό, βιολογικό υγρό κλπ.).
3. Στερεά μορφή (έδαφος, μπετό, κλπ.).



**Φωτ. 1.2** Τοπική διάβρωση χάλυβα

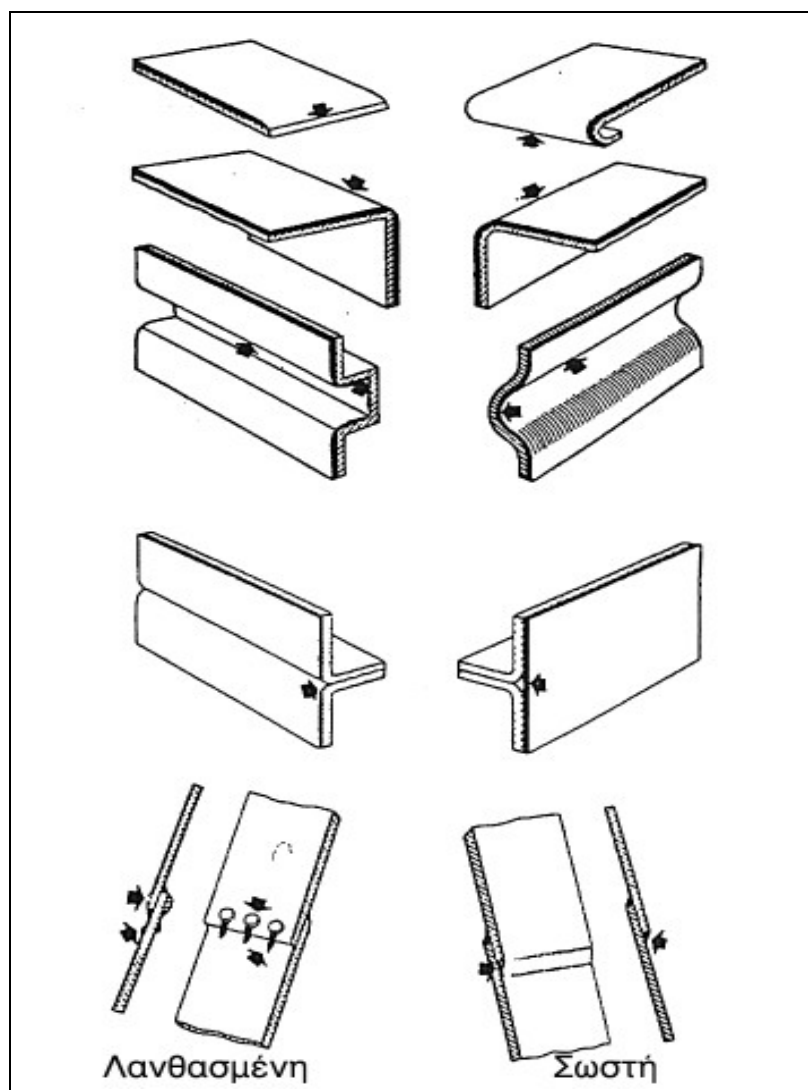


**Φωτ. 1.3** Διάβρωση νομίσματος



**Φωτ.1.4** Φυσική διάβρωση πετρωμάτων

### 1.3 Τα αίτια της διάβρωσης

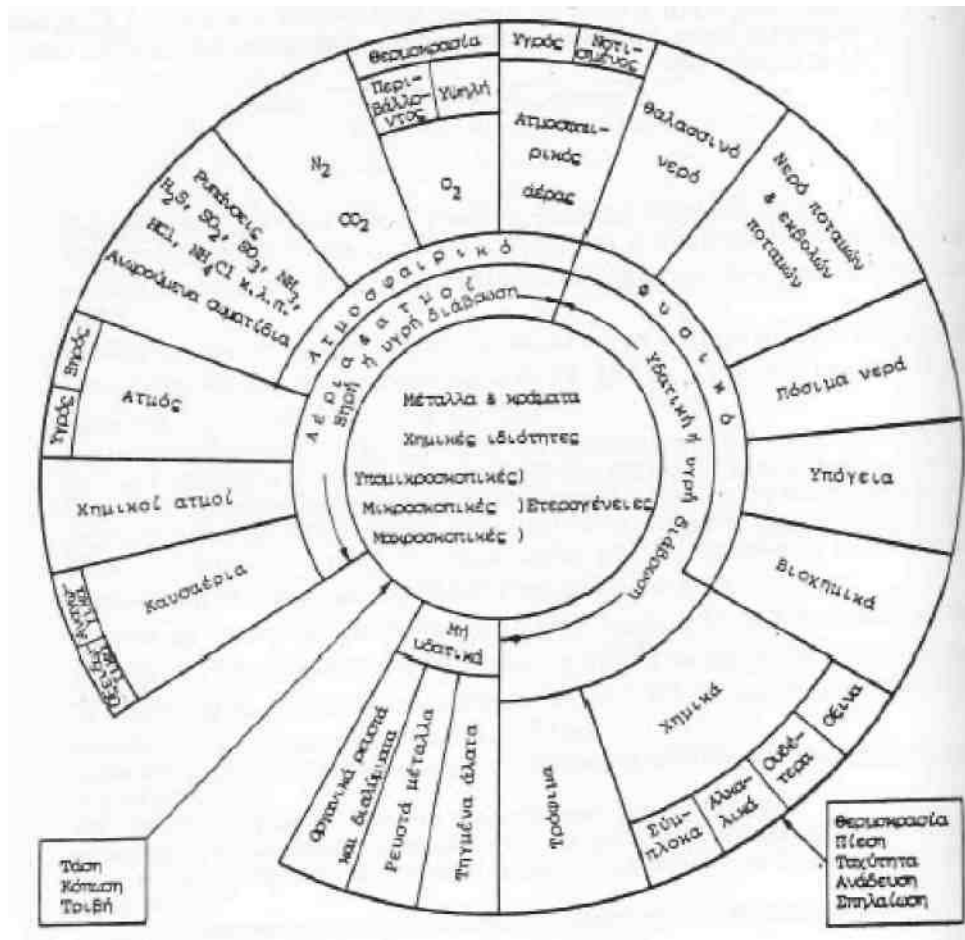


**Φωτ. 1.5** Λανθασμένη και σωστή σχεδίαση εξαρτημάτων από άποψη διάβρωσης

Τα περισσότερα μέταλλα βρίσκονται στη φύση με τη μορφή ενώσεων (εκτός από τον χρυσό Au, τον υδράργυρο Hg και τον λευκόχρυσο Pt), όπως οξείδια, θειούχες ενώσεις, ανθρακικά άλατα. Από τις ενώσεις αυτές που είναι σταθερές (χαμηλή εσωτερική ενέργεια) με κατάλληλες μεθόδους και με κατανάλωση ενέργειας (μεταλλουργία) παράγονται τα καθαρά μέταλλα.

Τα μέταλλα σε καθαρή μορφή είναι ασταθή (υψηλή εσωτερική ενέργεια) και προσπαθούν να αποκτήσουν την προηγούμενη σταθερή κατάσταση (των χημικών ενώσεων) ελευθερώνοντας την παραπάνω ενέργεια που έχουν. Αυτός είναι ο λόγος που τα καθαρά μέταλλα ενώνονται με άλλα χημικά στοιχεία, δηλ. διαβρώνονται (π.χ. όταν ο σίδηρος ενωθεί με το οξυγόνο σχηματίζει τη σκουριά, που είναι οξείδια του σιδήρου). Παρατηρούμε επομένως ότι η διαδικασία της διάβρωσης είναι η αντίστροφη της παραγωγής του μετάλλου.

## 1.4 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση



Φωτ. 1.6 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση

Η εξέλιξη της διάβρωσης εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες. Η γνώση των παραγόντων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική, επειδή μας οδηγεί στη μείωση της διάβρωσης.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά αυξάνει την ταχύτητα διάβρωσης. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $10^{\circ}\text{C}$  αυξάνει την ταχύτητα διάβρωσης στο διπλάσιο.
- Η τριεπιφάνεια (π.χ. νερό – αέρας – μέταλλο) επιταχύνει την διάβρωση.
- Το όξινο περιβάλλον. Όσο πιο όξινο είναι το περιβάλλον (π.χ. όξινη βροχή), τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάβρωση.
- Η μηχανική καταπόνηση. Οι μηχανικές τάσεις αυξάνουν την ταχύτητα διάβρωσης του μεταλλικού υλικού, που μπορεί να φθάσει μέχρι και τη θραύση.
- Ανομοιομορφίες στη δομή του υλικού. Οι τυχόν προσμίξεις, ατέλειες δομής του υλικού, επιφανειακές ανωμαλίες, επιταχύνουν την διάβρωση.
- Η τραχύτητα της επιφάνειας, οι προεξοχές, οι γωνίες, κλπ.
- Τα διαφεύγοντα ρεύματα. Το συνεχές ρεύμα προκαλεί γενικά αύξηση της διάβρωσης, σε αντίθεση με το εναλλασσόμενο. Συχνά όμως τα προϊόντα της διάβρωσης είναι ημιαγωγοί που προκαλούν την ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος με συνέπεια την αύξηση της διάβρωσης.



## 1.5 Τύποι της διάβρωσης στα μέταλλα

Ως προς τη μορφολογία, η διάβρωση διακρίνεται σε: ομοιόμορφη, τοπική, διάβρωση με βελονισμούς, σπηλαιώδη διάβρωση, κλπ. Ο πλέον συνηθισμένος τύπος διάβρωσης στο αυτοκίνητο είναι η τοπική διάβρωση που είναι εντοπισμένη σε ορισμένες περιοχές της επιφάνειάς του.

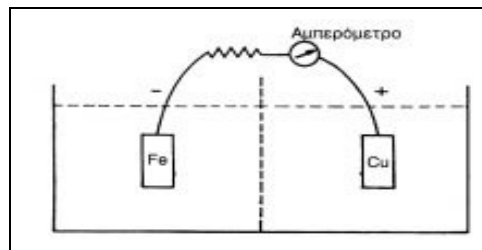
Ως προς την ύπαρξη ή όχι μηχανικής καταπόνησης, η διάβρωση διακρίνεται:

1. Στη διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, όπου υπάγονται η ρευστομηχανική διάβρωση (λόγω ροής του διαβρωτικού μέσου), η διάβρωση λόγω κόπωσης, κλπ.
2. Στη διάβρωση χωρίς μηχανική καταπόνηση, όπου υπάγονται η ηλεκτροχημική διάβρωση, η χημική διάβρωση, η διάβρωση εξαιτίας διαφορετικού αερισμού, η εκλεκτική διάβρωση, κλπ.

Θα αναφερθούμε συνοπτικά στους τύπους της διάβρωσης που εμφανίζονται στο αυτοκίνητο.

### • Ηλεκτροχημική διάβρωση

Αν δύο διαφορετικά μέταλλα π.χ. σίδηρος (Fe) και χαλκός (Cu) βρεθούν μέσα σε ένα διάλυμα νερού με κάποιο αλάτι και ενωθούν με έναν αγωγό που φέρει αμπερόμετρο, θα παρατηρήσουμε ότι ο αγωγός αυτός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα (γαλβανικό φαινόμενο).



**Φωτ.1.7** Γαλβανικό φαινόμενο

Παράλληλα θα παρατηρήσουμε, αν το πείραμα διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα, ότι ο σίδηρος (**άνοδος**) συνέχεια διαβρώνεται (διαλύεται). Το πείραμα φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 1.7. Με ανάλογα πειράματα, χρησιμοποιώντας διαφορετικά μέταλλα, δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται η ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων, δηλαδή ποιο μέταλλο είναι «αγενέστερο» από ένα άλλο και επομένως έχει την τάση να διαβρωθεί περισσότερο.

### Ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων

Cu	Pb	Sn	Ni	Fe	Cr	Zn	Al	Mg
Χαλκός	Μόλυβδος	Κασσίτερος	Νικέλιο	Σίδηρος	Χρώμιο	Ψευδάργυρος	Αργίλιο	Μαγνήσιο

Αυξητική τάση διάβρωσης των μετάλλων →

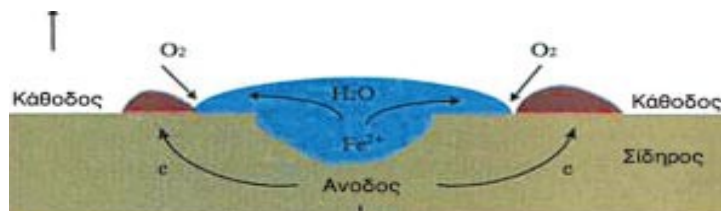
Η παραπάνω σειρά των μετάλλων μας καθορίζει ποιο από τα μέταλλα, σε ένα γαλβανικό φαινόμενο, θα διαβρωθεί (π.χ. αν το ζευγάρι των μετάλλων είναι Cu, Zn, θα διαβρωθεί ο ψευδάργυρος). Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα φαίνονται λογικές οι απορίες:

Γιατί χρησιμοποιούμε τον ψευδάργυρο (επιψευδαργύρωση), ή το χρώμιο (επιχρωμίωση) για την προστασία του σιδήρου εφόσον έχουν μεγαλύτερη τάση διάβρωσης; Γιατί χρησιμοποιούμε το αλουμίνιο αντί του χάλυβα για την αντιδιαβρωτική προστασία εξαρτημάτων του αυτοκινήτου;

Εξήγηση στο φαινόμενο αυτό δίνει ο σχηματισμός, μετά από χημική αντίδραση με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, οξειδίων των μετάλλων αυτών (π.χ.  $Al_2O_3$ ) που δρουν αντιδιαβρωτικά για το υπόλοιπο μέταλλο.

Ηλεκτροχημική διάβρωση εκτός της κλασικής περίπτωσης που αναφέραμε, μπορεί να συμβεί και σε άλλες περιπτώσεις όπως:

- Διάβρωση σε ένα μόνο μέταλλο (δημιουργία τοπικών γαλβανικών στοιχείων)

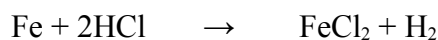


**Φωτ. 1.8** Μηχανισμός διάβρωσης σε εξάρτημα σιδήρου

- Διάβρωση από επαφή διαφορετικών μετάλλων (ονομάζεται διάβρωση επαφής), όπου διαβρώνεται το «αγενέστερο» μέταλλο

### • Χημική διάβρωση

Είναι γνωστό από τη χημεία ότι τα μέταλλα αντιδρούν με χημικές ενώσεις (οξέα, βάσεις κλπ.) και παράγουν άλλες ενώσεις. Αν παρατηρήσουμε μία τέτοια αντίδραση:



Σίδηρος + Υδροχλωρικό οξύ → Χλωριούχος σίδηρος + Υδρογόνο

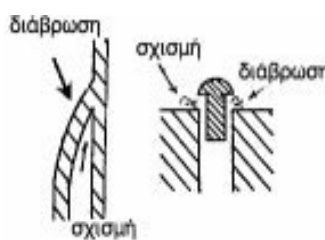
Θα αντιληφθούμε ότι ο σίδηρος διαλύεται (διαβρώνεται) δημιουργώντας ένα αλάτι ( $FeCl_2$ ) και αέριο υδρογόνου ( $H_2$ ). Γενικά η παρουσία χλωρίου σε ένα διαβρωτικό σύστημα επιταχύνει τη διάβρωση. Το χαρακτηριστικό αυτού του τύπου της διάβρωσης είναι ότι τα ηλεκτρόνια δεν περνούν μέσα από το μέταλλο (όπως στην ηλεκτροχημική διάβρωση). Το αλάτι που χρησιμοποιούμε για το λιώσιμο του πάγου στους δρόμους, επιφέρει χημική διάβρωση στο αμάξωμα του αυτοκινήτου.

Συνήθως κατά τη χημική διάβρωση παρατηρείται ομοιόμορφη διάβρωση στην επιφάνεια του μετάλλου. Χημική διάβρωση παρουσιάζεται σε περιοχές όπου υπάρχει επαφή οξέων, βάσεων κλπ. με μέταλλα (υγρά μπαταρίας ή ψυγείου), ή σε περιοχές υψηλής θερμοκρασίας όπου εξελίσσονται χημικές αντιδράσεις (κινητήρας, εξάτμιση). Πολλές φορές η χημική διάβρωση εξελίσσεται σε ηλεκτροχημική ανάλογα με τις συνθήκες.

- **Διάβρωση εξαιτίας διαφορετικού αερισμού.**

Σε περιοχές του αυτοκινήτου που για μεγάλα χρονικά διαστήματα συσσωρεύονται λάσπες ή βρωμιές παρατηρείται εντονότερη διάβρωση.

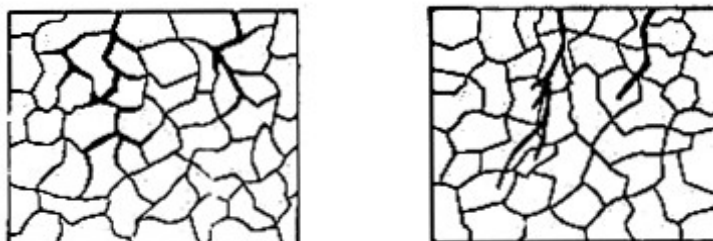
Μετά από σειρά περαμάτων παρατηρήθηκε ότι στο ίδιο υλικό (π.χ. Fe) εξ' αιτίας διαφορετικού αερισμού σε δύο περιοχές του, εμφανίζεται διάβρωση. Η περιοχή με το λιγότερο αερισμό (άρα λιγότερο οξυγόνο) καθίσταται άνοδος και διαβρώνεται. Σε περιοχές όπου υπάρχουν επικαθίσεις από ξένα υλικά, όπως λάσπες κλπ., άρα αερίζονται λιγότερο από άλλες, διαβρώνονται εντατικότερα. Για τον ίδιο λόγο παρατηρείται διάβρωση σε πόρους, διάκενα, ρωγμές κλπ.



**Φωτ. 1.9** Διάβρωση σε περιοχές με έλλειψη οξυγόνου (πόροι, ρωγμές, διάκενα)

- **Εκλεκτική διάβρωση**

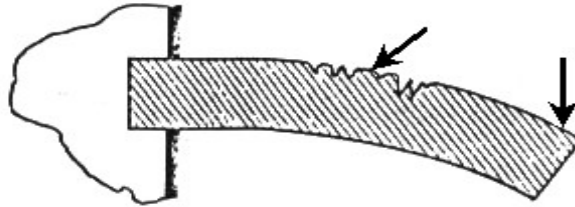
Σε κράματα πολλές φορές παρατηρείται εκλεκτική διάβρωση των αγενέστερων μετάλλων του κράματος από τα ευγενέστερα. Άλλες φορές παρατηρείται διάβρωση στα όρια των κόκκων με αποτέλεσμα την αποσάθρωση των υλικών.



**Φωτ. 1.10** Διάβρωση στα όρια των κρυσταλλικών κόκκων ή και μέσα σ' αυτούς (περικρυσταλλική – ενδοκρυσταλλική διάβρωση).

- **Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση**

Η επιβολή μηχανικών τάσεων σε μεταλλικά εξαρτήματα του αυτοκινήτου συντελεί στην αύξηση των ατελειών της δομής τους με αποτέλεσμα την ενίσχυση της τάσης διάβρωσης. Η πλέον συνηθισμένη εκδήλωση αυτής της μορφής διάβρωσης είναι η εμφάνιση ρηγματώσεων.



**Φωτ. 1.11** Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση

Ιδιαίτερες μορφές διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση είναι:

- **Διάβρωση κόπωσης**

Είναι η διάβρωση κατά την οποία οι μηχανικές τάσεις επιβάλλονται κυκλικά (π.χ. γρανάζια).

- **Ρευστομηχανική διάβρωση**

Είναι η διάβρωση που οφείλεται στη ροή του διαβρωτικού μέσου. Εμφανίζεται σε μεταλλικές σωληνώσεις λόγω της κίνησης του υγρού που παρασύρει αποξέσματα οξειδίων των μετάλλων, τα οποία δρουν προστατευτικά και συντελεί στην περαιτέρω διάβρωση.

Άλλη αιτία φθοράς των υλικών είναι η υψηλή θερμοκρασία (φαινόμενο ερπυσμού) ή και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ περιοχών του ίδιου εξαρτήματος .





**Φωτ. 1.12** Διάφορες μεταλλικές κατασκευές που υπέστησαν διάβρωση

## 1.6 Προστασία από τη διάβρωση



**Φωτ. 1.13** Υλικά που υπέστησαν επεξεργασία για τη προστασία από τη διάβρωση (επιμετάλλωση)

Η προστασία των υλικών έχει στόχο την ανάσχεση της δράσης της φθοράς με την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από:

- Το διαβρωτικό περιβάλλον.
- Τις λειτουργικές απαιτήσεις του υλικού.
- Τον αναμενόμενο χρόνο χρήσης του υλικού.
- Το κόστος της μεθόδου.

Ανάλογα με το είδος επέμβασης στο σύστημα οι σημαντικότερες κατηγορίες προστασίας είναι οι εξής:

1. Επέμβαση στο υλικό (κατάλληλη χημική σύσταση, ομοιογένεια, ειδική θερμική επεξεργασία, κλπ.).
2. Έλεγχος του διαβρωτικού περιβάλλοντος (προσθήκη χημικών ουσιών που επιβραδύνουν την διάβρωση, απομάκρυνση χημικών ουσιών που επιταχύνουν την διάβρωση).
3. Ενεργή προστασία ή επέμβαση στο διαβρωτικό σύστημα (θυσιαζόμενα ηλεκτρόδια, καθοδική προστασία με επιβολή εξωτερικής ηλεκτρικής τάσης).
4. Παθητική προστασία ή επέμβαση στην επιφάνεια του υλικού (ανόργανες αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις, οργανικές αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις).

Για την προστασία από τη διάβρωση του αυτοκινήτου συνήθως χρησιμοποιούνται συνδυασμοί μεθόδων όπως: φωσφάτωση (ανόργανη αντιδιαβρωτική επικάλυψη) , χρώμα (οργανική αντιδιαβρωτική επικάλυψη), ειδικά εποξειδικά χρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο που συμπεριφέρεται σαν θυσιαζόμενο ηλεκτρόδιο (ενεργή προστασία), κλπ.

- **Ανόργανες αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις**

Στις ανόργανες αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις ανήκουν οι επιμεταλλώσεις, το βιομηχανικό σμάλτο (εμαγιέ), η φωσφάτωση και η χρωμικοποίηση.

- Επιμεταλλώσεις

1. Επιμετάλλωση με «ευγενέστερο» μέταλλο

Ο σίδηρος π.χ. επικαλύπτεται ηλεκτρολυτικά ή με εμβάπτιση με χαλκό ή κασσίτερο. Ο σίδηρος προστατεύεται μόνο όταν το στρώμα της επιμετάλλωσης δεν παρουσιάζει ρωγμές.

2. Επιμετάλλωση με «αγενέστερο» μέταλλο.

Ο σίδηρος επικαλύπτεται με στρώμα χρωμίου ή ψευδαργύρου και προστατεύεται ακόμη και αν υπάρξει ρωγμή του προστατευτικού στρώματος. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται οξείδια που προστατεύουν τον ψευδάργυρο ή το χρώμιο από τη παραπέρα διάβρωση.

➤ Βιομηχανικό σμάλτο

Το βιομηχανικό σμάλτο χρησιμοποιείται πολύ λίγο στο αυτοκίνητο.

➤ Φωσφάτωση

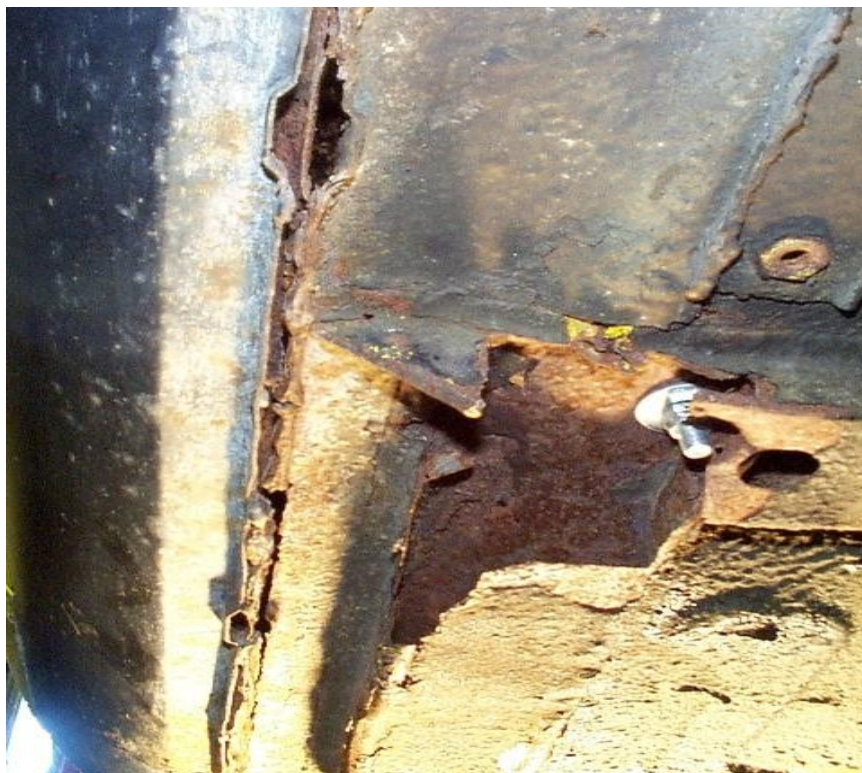
Η φωσφάτωση είναι μια αντιδιαβρωτική επεξεργασία μεταλλικών επιφανειών κατά την οποία, με κατάλληλες χημικές αντιδράσεις, παράγονται λεπτά κρυσταλλικά στρώματα φωσφορικών αλάτων. Τα άλατα αυτά αφ' ενός παρέχουν από μόνα τους αντιδιαβρωτική προστασία (περιορισμένης χρονικής διάρκειας), αφ' ετέρου βελτιώνουν την πρόσφυση της επιφάνειας που πρόκειται να επικαλυφθεί με χρώμα. Ο συνδυασμός της φωσφάτωσης με τα χρώματα αυξάνει σημαντικά την προστασία του αυτοκινήτου. Η τρόποι φωσφάτωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι δύο: με εμβάπτιση ή με ψεκασμό.

➤ Χρωμικοποίηση

Η χρωμικοποίηση είναι αντίστοιχη αντιδιαβρωτική επεξεργασία με τη φωσφάτωση, όπου, αντί για φωσφορικά, χρησιμοποιούνται χρωμικά άλατα. Πολλές φορές η χρωμικοποίηση χρησιμοποιείται στο τελευταίο στάδιο της φωσφάτωσης, για καλλίτερη προστασία. Το χρώμιο και οι ενώσεις του είναι ιδιαίτερα τοξικές. Αρκετά χρώματα περιέχουν χρώμιο, ενώ γίνεται προσπάθεια να αντικατασταθούν με άλλες μη τοξικές χημικές ενώσεις (έχει απαγορευτεί στα χρώματα που βάφονται παιδικά παιχνίδια).



## 1.7 Διάβρωση στα αυτοκίνητα



Φωτ. 1.14 Διάβρωση στο κάτω μέρος αυτοκινήτου



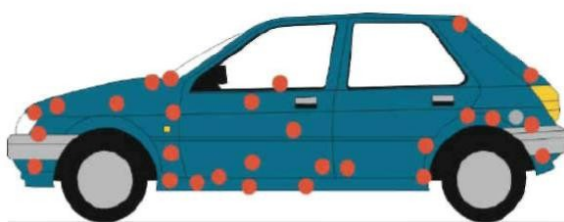
Φωτ. 1.15 Διάβρωση σε τμήματα αυτοκινήτου στο εμπρόσθιο σύστημα

Το αυτοκίνητο τη σημερινή εποχή αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της καθημερινότητας, με όποιες ευνοϊκές και μη συνέπειες αυτό συνεπάγεται. Ο τομέας του αυτοκινήτου επηρεάζει και επηρεάζεται από άλλες μεγάλες βιομηχανίες όπως αυτή του πετρελαίου, των πλαστικών, των μετάλλων και άλλων. Στην περίπτωση των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου, υπάρχουν συνεχείς εξελίξεις λόγω της προσπάθειας για μείωση του φαινομένου της διάβρωσης αυτών, το οποίο έχει καταστροφικές συνέπειες όχι μόνο στο ίδιο το αυτοκίνητο αλλά και στο περιβάλλον.

Το φαινόμενο της διάβρωσης που παρατηρείται στα αυτοκίνητα είναι πολύ σημαντικό και απαιτεί συνεχή έλεγχο καθώς οι συνθήκες που επηρεάζουν την διάβρωση μεταβάλλονται συνεχώς, οπότε είναι επιτακτική η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη. Ως διάβρωση ορίζουμε την καταστροφή ή αλλοίωση ενός υλικού λόγω αλληλεπίδρασης αυτού με το περιβάλλον, η οποία συνήθως ξεκινά από την επιφάνεια του υλικού αυτού. Η διάβρωση μπορεί να χωριστεί σε δύο είδη, την χημική διάβρωση και την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Η χημική διάβρωση λαμβάνει χώρα εξαιτίας της επίδρασης στο μέταλλο οξέων, βάσεων, αλάτων, καθώς και αερίων, όπως για παράδειγμα το οξυγόνο. Τα κύρια μέταλλα με τα οποία κατασκευάζονται τα αυτοκίνητα είναι ο σίδηρος και ο χάλυβας. Ο σίδηρος με το πέρασμα των χρόνων οξειδώνεται λόγω του οξυγόνου, του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και των υδρατμών, οπότε και τείνει να διέλθει στην κατάσταση του οξειδίου. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με τον χάλυβα.

Τα τελευταία χρόνια όμως γίνεται χρήση του αλουμινίου ως υλικού κατασκευής λόγω του πλεονεκτήματός του να μην υφίσταται χημική διάβρωση σε μεγάλο βαθμό, κάτι που οφείλεται στην ικανότητά του να σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα το οποίο προστατεύει το αμάξωμα από την διάβρωση. Μεγαλύτερη ανάλυση για τα αμαξώματα από αλουμίνιο παρουσιάζεται παρακάτω.



**Φωτ. 1.16** Σημεία διάβρωσης στο αυτοκίνητο

Αντίθετα με την χημική διάβρωση η ηλεκτροχημική οφείλεται στο διαφορετικό δυναμικό αναγωγής που μπορεί να παρουσιάζουν δύο μέταλλα που έρχονται σε επαφή μέσω κάποιου ηλεκτρολύτη. Στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα ηλεκτροχημική διάβρωση, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και χημική στην περίπτωση που τα μόρια που απελευθερώνονται από την πρώτη περίπτωση ενωθούν με έναν ηλεκτρολύτη χημικά.

Άλλα παραδείγματα ηλεκτροχημικής διάβρωσης, εκτός της επαφής δύο διαφορετικών μετάλλων που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι η ατμοσφαιρική διάβρωση, η τοπική διάβρωση από περικλειόμενο μέταλλο, και η τοπική διάβρωση λόγω κατεστραμμένης επίστρωσης από ένα άλλο μέταλλο.

Διάβρωση μπορεί να εμφανιστεί σε πολλά μέρη του αυτοκινήτου. Τα κυριότερα από αυτά είναι στο σασί του αυτοκινήτου, στους προφυλακτήρες, στην ταπετσαρία, στις αναρτήσεις, στους βραχίονες στήριξης των μερών από τα οποία αποτελείται το αυτοκίνητο, στα συστήματα πέδησης, καυσίμου, ψύξης, εξατμίσεως, καθώς επίσης και στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα του αυτοκινήτου (φωτ. 1.16).

Η διάβρωση μπορεί να εμφανιστεί με διάφορες μορφές, οι κυριότερες από τις οποίες είναι δύο:

1. Ομοιόμορφη διάβρωση όπου το μέταλλο φθείρεται παράλληλα προς την επιφάνειά του και συμβαίνει λόγω χημικής διάβρωσης.
2. Τρύπα στο μέταλλο όπου γίνεται τοπικά πάνω στο μέταλλο μέσω ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

Άλλα είδη διάβρωσης είναι η διάβρωση που λαμβάνει χώρα σε χαραμάδες ή ρωγμές της επιφάνειας του αυτοκινήτου όπου εκεί, μετά την είσοδο νερού, η υγρασία είναι δύσκολο να απομακρυνθεί, αφού οι ακτίνες του ήλιου δεν μπορούν να φτάσουν. Έτσι, λόγω αυτής της κράτησης υγρασίας, προκαλείται διάβρωση.

Επίσης διάβρωση μπορεί να συμβεί και από την περίπτωση όπου πέτρες πετάγονται από το δρόμο στην επιφάνεια του αυτοκινήτου, οπότε και του καταστρέφουν το χρώμα το οποίο εκτός από την χρωματική απόχρωση που δίνει στο αυτοκίνητο, δρα και ως προστατευτικό για αυτό. Αν δεν γίνει σωστός έλεγχος κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε διάτρηση. Διάβρωση θα δημιουργηθεί και στην περίπτωση όπου διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή, αφού υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθεί ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο οδηγεί στην διάβρωση. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως γαλβανική διάβρωση.

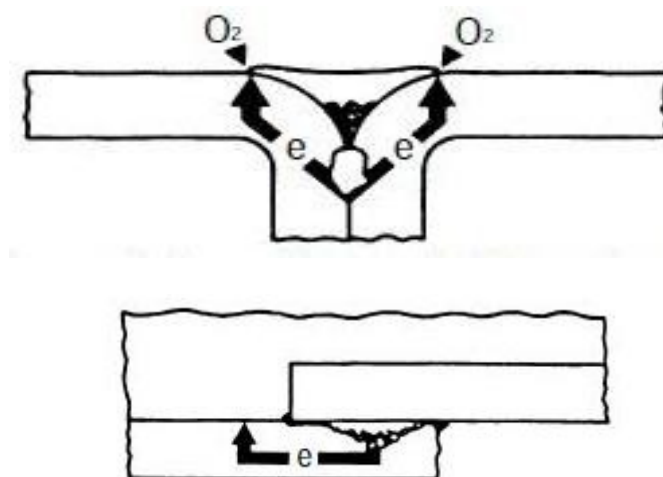
Τέλος στα σημεία όπου έρχονται σε επαφή πλαστικό με μέταλλο λαμβάνει χώρα η λεγόμενη μηχανική διάβρωση, ενώ όταν υπάρχουν δονήσεις στο αμάξωμα, λόγω της κακής επαφής που συμβαίνει για παράδειγμα όταν οι πόρτες δεν έχουν κλείσει σωστά, τότε εμφανίζονται προβλήματα στην επίστρωση χρώματος, η οποία επίστρωση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δρα ως προστατευτικό.

Πιο αναλυτικά στα αυτοκίνητα υπάρχουν πέντε είδη διάβρωσης χάλυβα: *ομοιόμορφη διάβρωση, διάβρωση σχισμών, διάβρωση σημαδιών, γαλβανική διάβρωση και κοσμητική διάβρωση.*

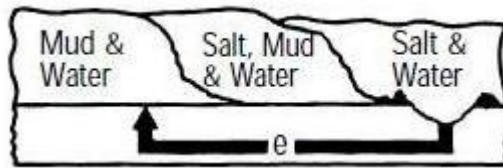
- Ο πιο γνωστός τύπος διάβρωσης ονομάζεται **ομοιόμορφη διάβρωση** και έχει την τάση να προχωρά ομοιόμορφα πάνω σε όλη την εκτεθειμένη επιφάνεια σε κάθε μη επιστρωμένο τμήμα και τελικά προκαλεί μια γενική λέπτυνση του μετάλλου. Αν και είναι η πιο γνωστή, είναι η λιγότερο καταστροφική. Στα αυτοκίνητα η ομοιόμορφη διάβρωση δεν συνδέεται με τη διάτρηση ή με τη δομική ζημιά.

- Η **διάβρωση σχισμών** συχνά συνδέεται με μικρές ποσότητες λιμνάζοντος διαλύματος ή ηλεκτρολύτη που έχει αιχμαλωτιστεί σε σχισμές και συνδέσεις ή σε επιφανειακές εναποθέσεις και καταπλάσματα.
- Η **διάβρωση σημαδιών** είναι μια τοπική επίθεση που συνήθως προκαλείται από χλωρίδια. Δημιουργούνται σημάδια που έχουν σαν αποτέλεσμα μια ανώμαλη επιφάνεια. Η διάβρωση σχισμών και η διάβρωση σημαδιών έχουν σαν αποτέλεσμα μια γρήγορη επίθεση πάνω στο μέταλλο. Σε μερικές περιπτώσεις, η επίθεση είναι τόσο σοβαρή που οδηγεί σε πρόωρες και συχνά καταστροφικές λειτουργικές ζημιές. Για παράδειγμα, μπορούμε να διαπραγματευτούμε τις δομικές απαιτήσεις ή διαφορετικά το τμήμα κάτω από το αμάξωμα μπορεί να τρυπήσει.
- **Γαλβανική Διάβρωση** συμβαίνει όταν ανόμοια μέταλλα έρχονται σε επαφή το ένα με το άλλο παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Μπορεί να είναι ζημιογόνα ή να έχει θετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα ένα εξάρτημα αλουμινίου σε επαφή με ένα εξάρτημα χάλυβα μπορεί να διαβρωθεί με σκοπό να προστατεύσει το χάλυβα. Η κατάσταση αυτή είναι ζημιογόνα για το τμήμα του αλουμινίου. Στο χάλυβα επίσης συχνά δίνεται μια μεταλλική επίστρωση ψευδαργύρου. Ο ψευδάργυρος θυσιάζεται, και κατά συνέπεια επιμηκύνει τη ζωή του τμήματος που έχει κατασκευαστεί από το επιστρωμένο με ψευδάργυρο χάλυβα. Η διάβρωση, η οποία ξεκινά από ένα ορατό μέρος του οχήματος, συνήθως σε σχισμές ή γρατσουνιές στην τελευταία επίστρωση, ονομάζεται κοσμητική διάβρωση.

Επίσης η διάβρωση σχισμών είναι ένα καταστροφικό είδος διάβρωσης διότι εστιάζει με οξύτητα σε τοπικές περιοχές, και συχνά είναι μη ορατή στα αρχικά στάδια. Η επίθεση είναι γρήγορη και συχνά έχει σαν αποτέλεσμα την μη προγραμματισμένη ή πρόωρη βλάβη. Η διάβρωση σχισμών συχνά συνδέεται με μικρούς όγκους λιμνάζοντος διαλύματος ή ηλεκτρολύτη που έχει παγιδευτεί σε τρύπες, σε επιφάνειες φλάντζας ή σε συνδέσεις (Φωτ. 1.17 ) κάτω από δέστρες και σε επιφανειακές αποθέσεις ή καταπλάσματα (Φωτ. 1.18).



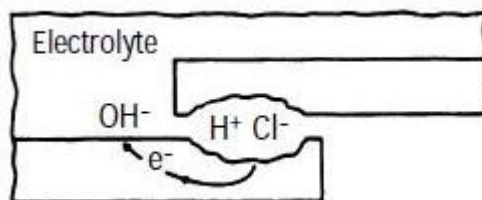
Φωτ. 1.17 Διάβρωση Σχισμών σε σημείο επικάλυψης



**Φωτ. 1.18** Διάβρωση Σχισμών κάτω από κατάπλασμα

Υπάρχει διαφωνία ανάμεσα σε ερευνητές πάνω στο μηχανισμό που ελέγχει την διάβρωση σχισμών. Μια θεωρητική σχολή πιστεύει ότι η διάβρωση σχισμών είναι το αποτέλεσμα των διαφορών στα μεταλλικά ιόντα ή στη συγκέντρωση οξυγόνου μέσα στη σχισμή και στις γύρω επιφάνειες. Συχνά, η διάβρωση σχισμών περιγράφεται σαν διάβρωση συγκέντρωσης κυττάρου οξυγόνου, που προκαλείται από την διαθεσιμότητα οξυγόνου στην επιφάνεια του ηλεκτρολύτη και έλλειψη οξυγόνου στην επιφάνεια του μετάλλου.

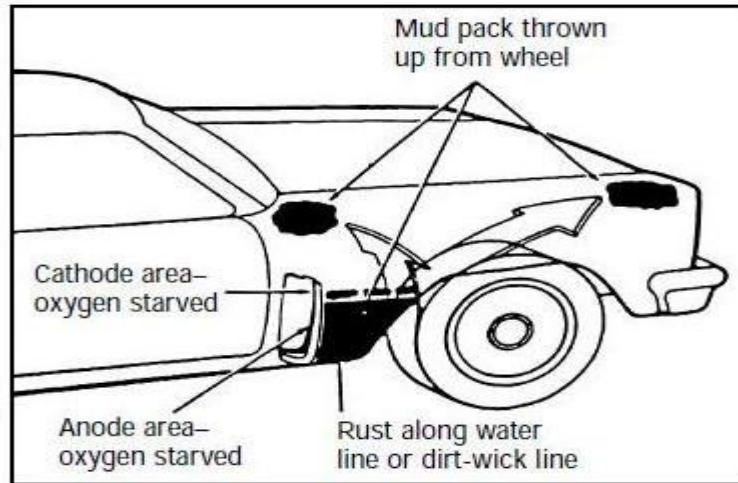
Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι αν και υπάρχουν διαφορές στη συγκέντρωση μεταλλικών ιόντων και οξυγόνου, ο μηχανισμός διάβρωσης είναι πιο περίπλοκος και μπορεί να εξηγηθεί με τη δημιουργία οξέων μέσα στη σχισμή. Αν και το οξυγόνο απελευθερώνεται στη σχισμή, η μεταλλική διάλυση συνεχίζεται διότι η υπερβολική ποσότητα θετικά φορτισμένων ιόντων εξισορροπείται από τη μετανάστευση των ανιόντων (ειδικά χλωριούχων ιόντων) από το κυρίως διάλυμα στη σχισμή (Φωτ. 1.19). Η συγκέντρωση χλωριούχου μετάλλου στη σχισμή αυξάνει. Ακολουθεί υδρόλυση του χλωριούχου μετάλλου και το pH πέφτει μέσα στη σχισμή, έχοντας σαν αποτέλεσμα μια αυτο-καταλυτική ανοδική διαδικασία.



**Φωτ. 1.19** Διάβρωση Σχισμών σε σημείο επικάλυψης

Η διάβρωση σχισμών παραμένει ένα μεγάλο πρόβλημα διότι τα σύγχρονα οχήματα έχουν έναν μεγάλο αριθμό από τμήματα και συνδέσεις. Είναι απόλυτα αδύνατο να εξαλείψουμε πολύ μικρά κενά ανάμεσα σε συνδεδεμένες επιφάνειες, οι οποίες είναι και οι κύριες περιοχές για την επίθεση διάβρωσης. Η σοβαρότητα της διάβρωσης σχισμών είναι αισθητή στη διάτρηση των τμημάτων των αμαξωμάτων και των εξαρτημάτων του σασί.

Ένα μεγάλο μέρος της διάβρωσης σχισμών οφείλεται στη σκόνη του δρόμου η οποία αιχμαλωτίζεται σε γωνίες, σε πρεβάζια παραθύρων και σε μερικές κάθετες επιφάνειες (Φωτ. 1.20). Αυτά τα κατάπλασμα κρατούν ηλεκτρολύτη με αλάτι ή υγρασία σε πολύ στενή επαφή με το μέταλλο. Η έλλειψη κίνησης αέρα για στέγνωμα του μετάλλου εξηγεί γιατί οι κάθετες και πάνω επιφάνειες (όπως αυτές των προφυλακτήρων) συχνά διαβρώνονται.



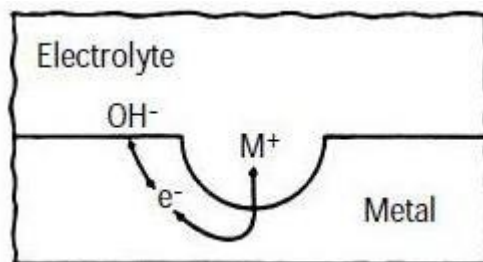
**Φωτ. 1.20** Συγκεντρώσεις λάσπης

Το κλείσιμο των οπών στεγνώματος είναι μια άλλη αιτία της διάβρωσης σχισμών. Ένα υγρό κατάπλασμα δημιουργείται στο χαμηλότερο εσωτερικό μέρος των πορτών των κυρτών τμημάτων και των προφυλακτήρων και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάτρηση.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να αντιμετωπιστεί η διάβρωση σχισμών είναι να ελαχιστοποιηθούν ή να εξαλειφθούν οι σχισμές κατά τη διάρκεια των σταδίων σχεδιασμού. Από τη στιγμή που το όχημα βρίσκεται σε λειτουργία, η κατάλληλη συντήρηση για να κρατηθούν οι επιφάνειες καθαρές, επίσης βοηθά στον έλεγχο της διάβρωσης σχισμών.

Η διάβρωση σημαδιών είναι μια τοπική επίθεση, που συνήθως προκαλείται από χλωρίδια. Ο μηχανισμός που κυβερνά την ανάπτυξη σημαδιών είναι παρόμοιος με αυτόν της διάβρωσης σχισμών. Στην πραγματικότητα, τα σημάδια είναι μικρές σχισμές που συνήθως έχουν διάμετρο ανάλογη με το μήκος τους. Μπορούν να βρεθούν τόσο κοντά τοποθετημένα που δίνουν την εντύπωση μιας ανομοιογενούς ατριωπής επιφάνειας.

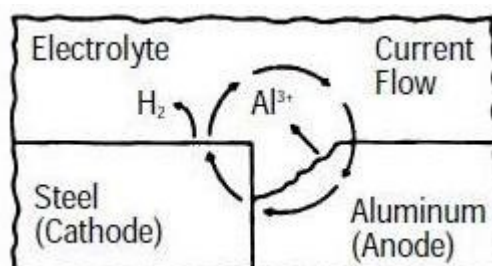
Η διάβρωση σημαδιών είναι ένα είδος αυτό-αναπτυσσόμενης διάβρωσης σχισμών, από το γεγονός ότι η διαδικασία διάβρωσης δημιουργεί το σημάδι ή τη σχισμή, η οποία πολλαπλασιάζεται με γρήγορο ρυθμό και τελικά τρυπά το μέταλλο. Η έναρξη των σημαδιών συνήθως είναι το αποτέλεσμα μιας ανομοιογένειας στο μέταλλο, σπασμάτων στην προστατευτική διαφάνεια, υλικών που εναποτίθενται στη επιφάνεια, ελαττωμάτων ή ατελειών (Φωτ. 1.21).



**Φωτ. 1.21** Διάβρωση Σημαδιών

Η Γαλβανική Διάβρωση, η οποία αναφέρεται και ως διάβρωση δύο μετάλλων, ή διμεταλλική, συμβαίνει όταν ανόμοια μέταλλα βρίσκονται σε επαφή κατά την παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Όσο πιο δραστήρια ή ανοδικά, τόσο πιο γρήγορα διαβρώνεται το μέταλλο, ενώ όσο πιο ήπια ή καθοδικά τόσο το μέταλλο δεν καταστρέφεται. Στη Γαλβανική κλίμακα το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος είναι πιο δραστήρια από του χάλυβα και στην παρουσία χλωριδίου που περιέχει ηλεκτρολύτη θα διαβρωθούν κυρίως όταν έρχονται σε επαφή με τον χάλυβα.

Αν σε ένα αυτοκίνητο ένα τμήμα αλουμινίου είναι σε άμεση επαφή με ένα τμήμα χάλυβα, τότε το τμήμα του αλουμινίου θα διαβρωθεί. Για να εμποδίσουμε τη Γαλβανική διάβρωση του αλουμινίου, τα τμήματα αλουμινίου και χάλυβα πρέπει να είναι ηλεκτρικά διαχωρισμένα από ένα μη αγωγίμο διαχωριστικό ή σφράγιση. Ο μηχανισμός γαλβανικής διάβρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευνοϊκά. Χρησιμοποιείται ευρέως σαν το πρωταρχικό προστατευτικό σύστημα για τους χάλυβες. Ένα λεπτό στρώμα ψευδαργύρου θα διαβρωθεί κατά προτεραιότητα, και αυτή η δράση «θυσίως» παρέχει μακροπρόθεσμη προστασία για το χαλύβδινο υπόστρωμα (Φωτ. 1.22).



**Φωτ. 1.22** Γαλβανική διάβρωση

- Διάβρωση η οποία ξεκινά σε μια ορατή επιφάνεια του οχήματος, συνήθως σε σχισμές ή εκδορές στην τελική επίστρωση, ονομάζεται **κοσμητική διάβρωση**.

Η διάβρωση του χάλυβα σε περιοχές που έχουν υποστεί αλλοίωση στο χρώμα, είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία. Το μέταλλο οξειδώνεται σε ανοδικά τμήματα με τη δημιουργία ηλεκτρονίων και ιόντων. Τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται μέσα από το μεταλλικό υπόστρωμα σε καθοδικά τμήματα όπου συνδέονται με νερό και οξυγόνο για να δημιουργήσουν ιόντα υδροξυλίου.

Στην περίπτωση των φύλλων χάλυβα ψυχρών κυλίνδρων, η έκθεση σε υγρές συνθήκες οδηγεί σε ανοδική διάλυση του χάλυβα της εκτεθειμένης περιοχής με τη δημιουργία άσχημης κόκκινης σκουριάς. Επειδή το νερό, το οξυγόνο και τα ιόντα μετακινούνται δια μέσω και κάτω από την διαφάνεια του χρώματος, μια καθοδική αντίδραση συμβαίνει κάτω από το χρώμα πλησίον στην κατεστραμμένη περιοχή.

Τα ηλεκτρόνια κυλούν μέσα από τον χάλυβα για να εξισορροπήσουν τις ξεχωριστές ανοδικές και καθοδικές αντιδράσεις. Το ελαφρύ διάλυμα pH που αναπτύσσεται ανάμεσα στο μέταλλο και το χρώμα, προκαλεί μια απώλεια στην κολλητικότητα του χρώματος, που ονομάζεται καθοδική αποσύνδεση.

Ανάλογα με το είδος του συστήματος βαφής, την αρχική επεξεργασία και το υπόστρωμα, η καθοδική αποσύνδεση μπορεί να προχωρήσει με έναν ή και

περισσότερους πιθανούς μηχανισμούς, που συμπεριλαμβάνουν: 1) σαπωνοποίηση του ρετσεινού βαφής, που είναι ένας υποβιβασμός του πολυμερούς από τα υδροξυλικά ιόντα. 2) διάλυση του φωσφορούχου στρώματος ή 3) μείωση ενός στρώματος οξειδίου πάνω στη μεταλλική επιφάνεια.

Κατά τη διάρκεια ακόλουθης έκθεσης σε συνθήκες στεγνώματος το οξυγόνο γίνεται διαθέσιμο για αυξημένη καθοδική δραστηριότητα στην περιοχή της αρχικής ζημιάς. Αυτό το οξυγόνο επιτρέπει στην ανοδική διάλυση να εξαπλωθεί στη διαστρωματωμένη περιοχή, και οδηγεί σε επιπλέον επίθεση από την ανοδική αποδυνάμωση. Η δημιουργία ενός στρώματος σκουριάς κάτω από την διαφάνεια μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον ζημιά εξαιτίας της μηχανολογικής διάνοιξης.

Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε υγρούς και ξηρούς κύκλους οδηγεί σε μια συνεχή επίθεση στο χαλύβδινο υπόστρωμα, στη δημιουργία κόκκινων προϊόντων διάβρωσης, και μια εξαπλωμένη απώλεια της κολλητικότητας της βαφής, που ονομάζεται creepback (σύρσιμο προς τα πίσω) της βαφής. Κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της ύγρανσης, η μείωση των κόκκινων προϊόντων διάβρωσης σε μαγνήτη ( $\gamma\text{-Fe}(\text{OH})\text{-Fe}_3\text{O}_4$ ) μπορεί επίσης να συνεισφέρει στην καθοδική αντίδραση.

Παρόλα αυτά, η κόκκινη σκουριά και το σύρσιμο της βαφής μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη χρήση ενός επιστρωμένου υποστρώματος ψευδαργύρου ή κράματος ψευδαργύρου. Για αυτό το λόγο, υπάρχει ευρύτατη αντικατάσταση στα τμήματα των αμαξωμάτων των επιστρωμένων με ψευδάργυρο ή κράμα ψευδαργύρου φύλλων χάλυβα με φύλλα χάλυβα ψυχρής έλασης (cold rolled).

Όταν χρησιμοποιείται ένα επιστρωμένο φύλλο ψευδαργύρου ή κράματος ψευδαργύρου, τότε η επίστρωση ψευδαργύρου διαβρώνεται πρωταρχικά, όπως δείχνει η Φωτ.1.23. Καθώς γίνεται αυτό, η επίστρωση δρα σαν άνοδος σε γαλβανικό ζευγάρι και ο εκτεθειμένος χάλυβας δρα σαν κάθοδος. Ενώ με αυτό τον τρόπο ο χάλυβας προστατεύεται, υπάρχει απώλεια της κολλητικότητας της βαφής, εξαιτίας της ανοδικής υποβάθμισης καθώς η επίστρωση ψευδαργύρου καταναλώνεται. Μπορεί να υπάρξει και επιπλέον απώλεια της κολλητικότητας πριν από την διάλυση της πρόσθιας επιφάνειας, εξαιτίας της καθοδικής αποσύνδεσης.

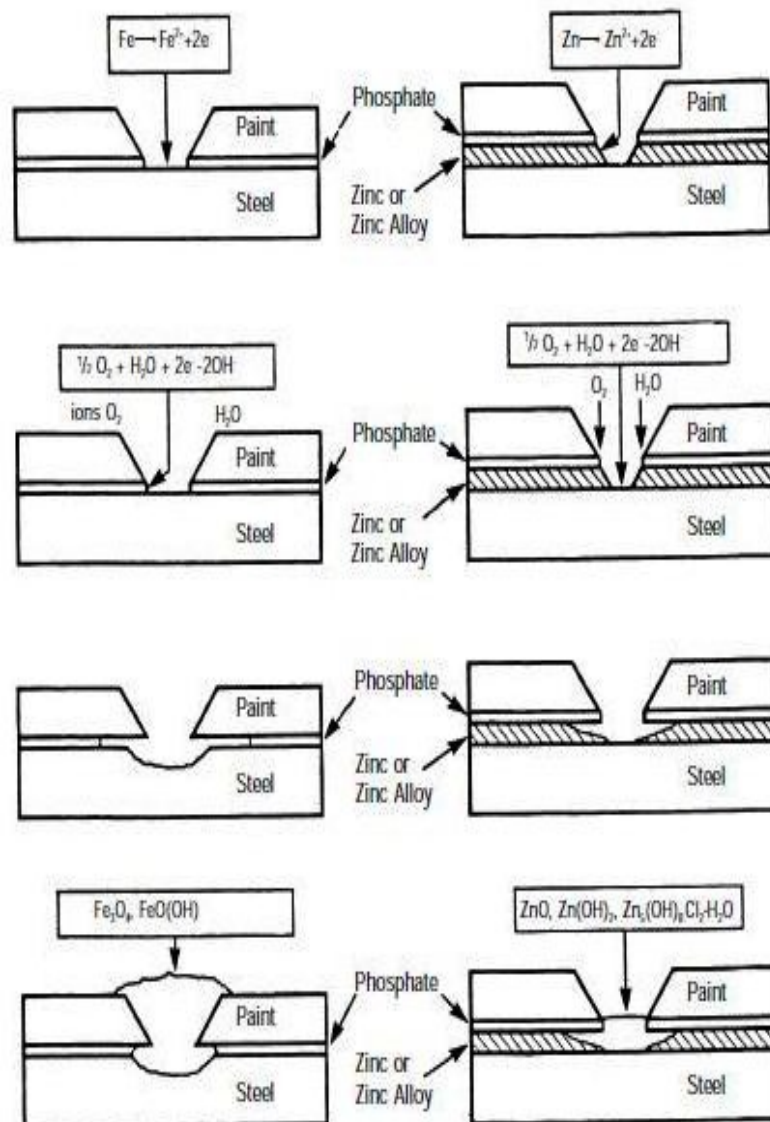
Τα ιόντα ψευδαργύρου που παράγονται από την αποσύνθεση του επιστρώματος μετακινούνται προς την εκτεθειμένη επιφάνεια του χάλυβα. Εκεί ενώνονται με τα ιόντα υδροξυλίου από την καθοδική αντίδραση και σχηματίζουν ένα λευκό ίζημα. Το λευκό ίζημα είναι γενικά λιγότερο αντιθετικό σε εμφάνιση από την κόκκινη σκουριά. Επίσης λειτουργεί για να εμποδίζει την καθοδική αντίδραση σε αυτή την περιοχή και καθυστερεί τον ρυθμό της διάλυσης του ψευδαργύρου. Κόκκινη σκουριά θα αναπτυχθεί στο τέλος πάνω στον εκτεθειμένο χάλυβα μόλις ο διαθέσιμος ψευδάργυρος στην επίστρωση καταναλωθεί.

Κατά τη διάρκεια διαλειμάτων ξηρότητας και οι ανοδικές και οι καθοδικές αντιδράσεις θα σταματήσουν και η εξάπλωση της ζημιάς στο χρώμα θα σταματήσει. Συνεπώς, όταν υπάρχουν διαλείμματα ξηρότητας, ο βαθμός του διαχωρισμού της βαφής για τον ψευδάργυρο και για τους επιστρωμένους χάλυβες κράματος ψευδαργύρου, που εκτίθενται σε πραγματικές καταστάσεις ελέγχου είναι λιγότερος από αυτόν για τους ψυχρής έλασης (cold rolled) χάλυβες.



Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν οι επιστρωμένοι και οι cold rolled χάλυβες ελέγχονται κάτω από καταστάσεις συνεχούς υγρασίας, όπως αυτή του ψεκασμού με αλάτι, έχουν αποτελέσματα αντίθετα από αυτά που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο, όπου μπορούν να υπάρχουν διαλείμματα ξηρότητας. Για παράδειγμα, τα τεστ διαρκούς υγρασίας θα δείξουν ότι τα cold rolled φύλλα θα έχουν λιγότερο διαχωρισμό χρώματος από τους επιστρωμένους χάλυβες.

Η συνεχής υγρασία επίσης, καταστρέφει την υψηλότερη προστασία που προσφέρεται από τα οξειδία πάνω στα επιστρωμένα φύλλα. Για αυτούς τους λόγους, οι συνεχείς έλεγχοι υγρασίας, όπως το τεστ ψεκασμού με αλάτι, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η αντίσταση στη διάβρωση των κάτω τμημάτων των αμαξωμάτων.

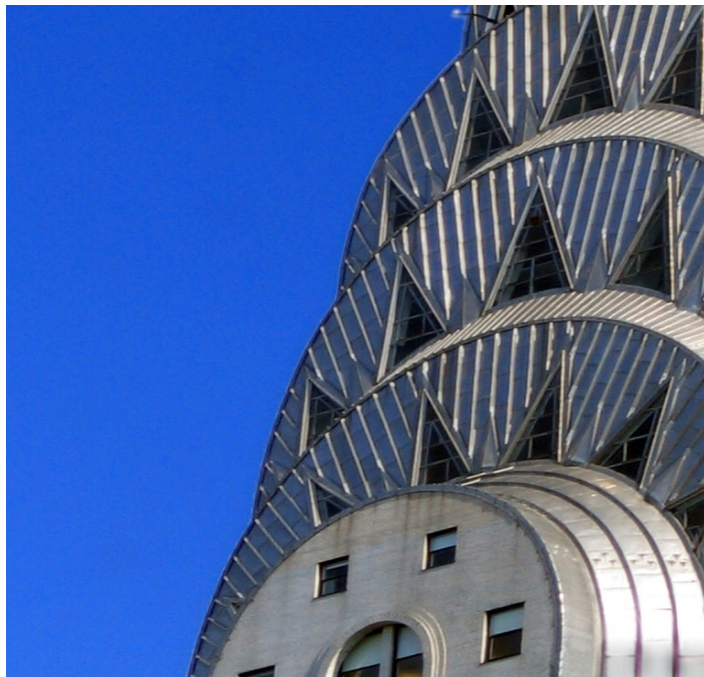


Φωτ. 1.23 Κοσμητική διάβρωση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°: ΜΕΤΑΛΛΑ



**Φωτ. 2.1** Κρύσταλλοι Γαλλίου



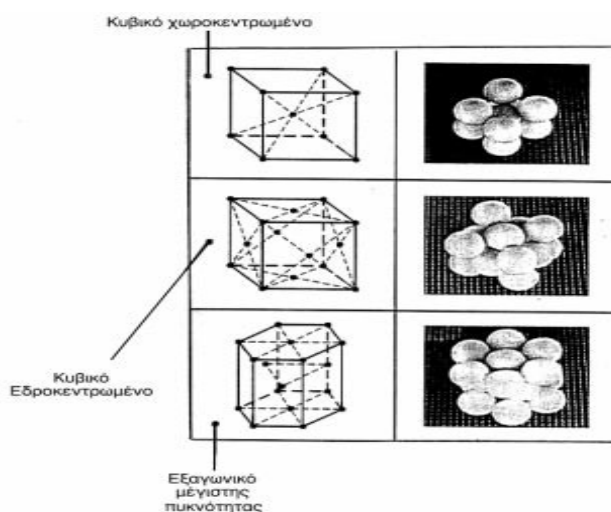
**Φωτ. 2.2** Ο ουρανοξύστης της Κράνσλερ στην Νέα Υόρκη είναι επενδεδυμένος με φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα AISI-SAE 304.

## 2.1 Η εσωτερική δομή των μετάλλων

Τα χημικά στοιχεία διακρίνονται σε **μέταλλα** (περίπου 70 τον αριθμό) και σε **αμέταλλα** (περίπου 30 τον αριθμό). Αυτή η διάκριση οφείλεται στη διαφοροποίηση των ανωτέρω στοιχείων από άποψης χημικών και φυσικών ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες των μετάλλων καθορίζονται από τη δομή τους και τη διάταξη που έχουν οι κόκκοι τους στο χώρο. Αυτή η δομή ανήκει αφενός μεν στο δεδομένο φυσικό είδος ενός υλικού, αφετέρου δε σχηματίζεται κατά την παραγωγή και επεξεργασία του.

Τα βασικά κρυσταλλικά πλέγματα με βάση τα οποία κρυσταλλώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό των μετάλλων είναι τα ακόλουθα:

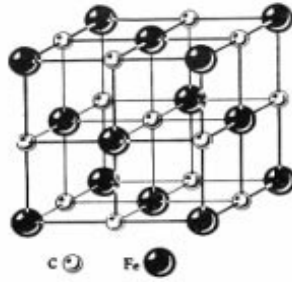
- Το *κυβικό χωροκεντρωμένο* με παραδείγματα μετάλλων όπως Fe, Cr, Mn, W, Ti, Na, K, V, Cb, Ta.
- Το *κυβικό εδροκεντρωμένο* με παραδείγματα μετάλλων όπως Fe, Al, Cu, Ni, Ca, Au, Ag, Pb, Pt.
- Το *εξαγωνικό μέγιστης πυκνότητας* με παραδείγματα μετάλλων όπως Be, Cd, Mg, Zn, Zr.



**Φωτ. 2.3** Βασικά κρυσταλλικά πλέγματα των μετάλλων.

Κατά την παραγωγή τους τα μέταλλα είναι σε κατάσταση τήγματος. Με την ψύξη στερεοποιούνται ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται και η δομή τους, δηλαδή το είδος του κρυσταλλικού πλέγματος, το μέγεθος και η διάταξη των κόκκων. **Κόκκοι** είναι κρύσταλλοι με σαφή όρια και διαφορετικό μεταξύ τους προσανατολισμό. Τα καθαρά μέταλλα έχουν ενιαία-ομοιογενή δομή και σχετικά μικρή αντοχή. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούνται στην πράξη όχι υπό καθαρή μορφή αλλά σαν κράματα.

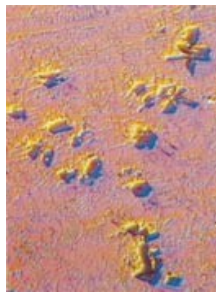
Τα **κράματα** είναι μεταλλικά υλικά που προέρχονται από την ανάμιξη δύο ή περισσότερων μετάλλων ή μίγματα από ένα τουλάχιστον μέταλλο και αμέταλλα. Η κατασκευή-δημιουργία των κραμάτων γίνεται επίσης σε υγρή κατάσταση, το **τήγμα**. Τα στοιχεία του κράματος προσθέτονται στο βασικό ρευστό μέταλλο και διαλύονται σ' αυτό ομοιόμορφα. Κατά την πήξη του τήγματος, σχηματίζονται διαφορετικά είδη κόκκων, των οποίων η σύσταση, το κρυσταλλικό πλέγμα, το μέγεθος ποικίλει ανάλογα με τα συστατικά του κράματος, την κατά βάρος αναλογία τους και τις συνθήκες πήξης του κράματος.



**Φωτ. 2.4** Σύνθεση κράματος στο κυβικό εδροκεντρωμένο σύστημα (ωστενίτης).



**Φωτ. 2.5** Λεπτό φύλλο κράματος Al-Cu.



**Φωτ. 2.6** Λεπτό φύλλο κράματος Al που χρησιμοποιείται στην κατασκευή εμβόλων κινητήρων.



**Φωτ. 2.7** Λεπτό φύλλο κράματος Al-Cu-Fe-Mn-Si.

## 2.2 Σιδηρούχα μέταλλα



Στη φύση ο σίδηρος

βρίσκεται υπό μορφή χημικών ενώσεων με άλλα μέταλλα και στοιχεία και ποτέ καθαρός, εκτός από ελάχιστες ποσότητες που προέρχονται από μετεωρίτες. Αυτό το σύνολο του σιδήρου και των άλλων στοιχείων ή ενώσεων (Si, Al, CaCO<sub>3</sub>, Mg, κλπ) αποτελεί το **μετάλλευμα**.

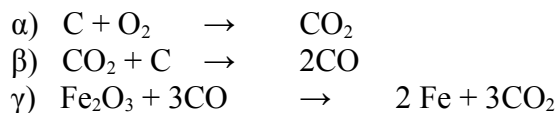
Γενικά σαν μετάλλευμα μπορούμε να ορίσουμε ένα σύνολο φυσικών υλών που περιέχουν μεταλλικές ενώσεις σε αρκετό ποσοστό ώστε η εξαγωγή του μετάλλου με βιομηχανικές μεθόδους να είναι τεχνικοοικονομικά συμφέρουσα. Το εκμεταλλεύσιμο ή όχι ενός μεταλλεύματος σιδήρου εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε Fe. Αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 30%.

Υπάρχουν μεταλλεύματα οξειδωτικών ενώσεων (Μαγνητίτης, ερυθρός αιματίτης, ολιθικός σίδηρος), ανθρακικών ενώσεων (σιδερίτης ή σχιστολιθικός σίδηρος), θεικών ενώσεων κλπ.

### 2.2.1 Σίδηρος

- **Παραγωγή σιδήρου - Σύσταση – Ιδιότητες**

Το μετάλλευμα μεταφέρεται στην υψικάμινο (εικόνα 2.6) όπου το επεξεργαζόμαστε για την τελική παραγωγή σιδήρου. Στην πρώτη φάση επεξεργασίας του, οι ενώσεις του σιδήρου με την βοήθεια κοκ και συλλιπασμάτων (διάφορα πρόσθετα) υφίστανται χημική επεξεργασία και μετατρέπονται σε χυτοσίδηρο. Κατά την καύση του άνθρακα (C), παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) το οποίο κατά την άνοδο συναντά και άλλον άνθρακα (C) και μετατρέπεται σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το μονοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνει τον ήδη πυρωμένο σίδηρο (Fe). Οι απλές χημικές εξισώσεις της πρωτογενούς παραγωγής χυτοσιδήρου έχουν ως εξής:



Ο παραγόμενος πρωτογενής χυτοσίδηρος περιέχει έως 90% σίδηρο, 4% άνθρακα και μικρές ποσότητες μαγγανίου, πυριτίου, φωσφόρου και θείου. Ανάλογα με τη σύνθεσή του, διακρίνεται σε πρωτογενή χυτοσίδηρο για παραγωγή χάλυβα και σε πρωτογενή χυτοσίδηρο για παραγωγή χυτών αντικειμένων. Ο πρώτος έχει υψηλό ποσοστό μαγγανίου και επιφάνεια θραύσης γυαλιστερή αργυρή, ενώ ο δεύτερος έχει υψηλό ποσοστό πυριτίου και επιφάνεια θραύσης γκριζα

Περίληπτικά λοιπόν, έχουμε την ύπαρξη σιδηρομεταλλευμάτων στη φύση τα οποία με την κατάλληλη επεξεργασία μας δίνουν την πρώτη ύλη για την παραγωγή είτε χυτοσιδήρου, είτε χάλυβα, που είναι οι δύο μορφές του χρησιμοποιούμενου σήμερα σιδήρου.

### 2.2.2 Χάλυβας

Ο **χάλυβας** που είναι το κυριότερο σιδηρούχο κράμα παράγεται, όπως είπαμε, από τον πρωτογενή χυτοσίδηρο που παρασκευάζεται στην υψικάμινο. Για να μετατρέψουμε τον πρωτογενή χυτοσίδηρο σε χάλυβα πρέπει να μειώσουμε το ποσοστό του άνθρακα, του μαγγανίου και του πυριτίου και να εξαλείψουμε τελείως το φώσφορο και τις ξένες προσμείξεις. Οι γνωστότερες μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι οι: μέθοδος **Bessemer**, 1856, μέθοδος **Siemens-Martin**, 1857 (ανοικτής εστίας).

Μετά την παραγωγή του ο χάλυβας υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία είτε για δημιουργία νέων κραμάτων, είτε για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών. Οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι η **αποξειδωση** και η **απαέρωση με κενό**.

Ο έτοιμος πλέον ρευστός χάλυβας χυτεύεται και παίρνει έτσι την αρχική του μορφή για την επόμενη φάση επεξεργασίας του στα **έλαστρα**. Το μεγαλύτερο μέρος χυτεύεται σε συνεχή χύτευση. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις κάνουμε χύτευση σε μεταλλικά καλούπια.

Στην επόμενη φάση, κάνοντας χρήση των ιδιοτήτων των μετάλλων, μπορούμε με διάφορες κατεργασίες εν ψυχρώ και εν θερμώ να παράγουμε προϊόντα έτοιμα για χρήση στη βιομηχανία. Έτσι με έλαση εν θερμώ και εν ψυχρώ παράγουμε μορφοσίδηρο, χαλύβδινες ράβδους, σύρματα, λαμαρίνες, μπάρες. Με διέλαση παράγουμε σωλήνες χωρίς ραφή. Με σφυρηλασία παράγουμε πολλά μικρά σφυρήλατα αντικείμενα.

Άλλες επεξεργασίες των χαλύβων, στη βιομηχανοποιημένη πλέον μορφή τους, έχουμε: την κοίλανση, την κάμψη, την απότμηση, την περιώθηση, τα διάφορα είδη συγκολλήσεων, τις διάφορες θερμικές κατεργασίες, τις διάφορες επιφανειακές κατεργασίες, τις διάφορες επικαλύψεις κλπ.

Στην Φωτ. 2.8 παρουσιάζεται η φάση της εν θερμώ έλασης και στην Φωτ. 2.9 παρουσιάζεται η φάση της εν ψυχρώ έλασης για παραγωγή φύλλων λαμαρίνας.



Φωτ. 2.8



Φωτ. 2.9

- **Κατάταξη και σύνθεση των χάλυβων - κατηγορίες ποιότητας χάλυβα**

Ανάλογα με τη χημική σύστασή τους οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες.** Περιέχουν έως 1.0% Mn και ελάχιστα ποσοστά προσμίξεων θείου (S) και φωσφόρου (P) έως 0.05%. Πρόκειται για μαλακούς χάλυβες (μικρή περιεκτικότητα σε C) που παρουσιάζουν αυξημένη συγκολλησιμότητα.
- **Κραματωμένοι χάλυβες.** Έχουμε τρεις υποκατηγορίες.
  - Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμίξεις μέχρι 2%. Τέτοιοι είναι οι δομικοί ή κατασκευαστικοί χάλυβες.
  - Μέτρια κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμίξεις από 2% έως 10%.
  - Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμίξεις πάνω από 10%. Τέτοιοι είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, οι ταχυχάλυβες, κλπ.

Ανάλογα με τον προορισμό τους οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Χάλυβες διαμόρφωσης.** Αυτοί υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση).
- **Χυτοχάλυβες.** Παράγονται απευθείας με χύτευση.

Ανάλογα με τη χρήση τους οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Χάλυβες κατασκευών.** Είναι χάλυβες με μικρά σχετικά ποσοστά κραματικών στοιχείων (Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πλήθος κατασκευών, όπως π.χ. λέβητες, ρουλεμάν, ψυχή έλαση, άξονες, διωστήρες, κλπ.
- **Χάλυβες εργαλείων.** Περιέχουν συνήθως μεγάλα ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V), τα οποία ευνοούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά και τριβή. Χρησιμοποιούνται για κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόρνου, φρέζας, πλάνης, κλπ), ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης-κοπής-διαμόρφωσης).
- **Χάλυβες θερμικής αντοχής.** Περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό Cr και χρησιμοποιούνται για κατασκευή σιδηροτροχιών, φούρνων, σωληνώσεων διυλιστηρίων, μπόιλερ, κλπ.
- **Χάλυβες ανοξείδωτοι.** Είναι χάλυβες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Π.χ. χημική βιομηχανία, εναλλάκτες θερμότητας, ιατρικά εργαλεία, είδη κουζίνας (μαχαιροπήρουνα) κλπ. Περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό Cr, Ni.
- **Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.** Χρησιμοποιούνται για κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών, μονίμων μαγνητών κλπ.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να προσδιορίσουμε την ποιότητα ενός χάλυβα στην πράξη είναι η αντοχή που έχει σε καταπόνηση εφελκυσμού. Έτσι όταν ακούμε για χάλυβα 37, εννοούμε χάλυβα με ενδεικτική τιμή σε εφελκυσμό 370 N/mm<sup>2</sup>, όταν για χάλυβα 70, εννοούμε χάλυβα με ενδεικτική τιμή σε εφελκυσμό 700 N/mm<sup>2</sup>.

- **Ιδιότητες των χάλυβων – συντομογραφία – χρήση στο αυτοκίνητο**

Η ονοματολογία των χάλυβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης στον κόσμο, όπως DIN, NF, BS, UNI, ASTM, κλπ. Υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων, απαραίτητη για την συνεννόηση αλλά και για τη διακίνηση των διαφόρων χάλυβων ανά τον κόσμο. Πιο κάτω, σε πίνακες δίνουμε ενδεικτικά παραδείγματα ονοματολογίας και τυποποίησης χάλυβων καθώς και μια τέτοια αντιστοιχία τυποποίησης.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1** Χάλυβες κατασκευών

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm <sup>2</sup>	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.0301	C 10	490-640	131	0.07-0.13
1.0401	C 15	590-780	146	0.12-0.18
1.0711	9 S 20	360-530	159	≤ 0.13
1.0715	9 SMn 28	380-570	170	≤ 0.14
1.0718	9 SMnPb 28	380-570	170	≤ 0.14
1.0721	10 S 20	360-530	159	0.07-0.13
1.1121	Ck 10	490-640	131	0.07-0.13
1.1141	Ck 15	590-780	146	0.12-0.18
1.5732	14 NiCr 10	830-1080	205	0.10-0.17
1.5752	14 NiCr 14	880-1180	230	0.10-0.17
1.5860	14 NiCr 18	1080-1320	245	0.10-0.17
1.5919	15 CrNi 6	780-1060	217	0.12-0.17
1.6587	17 CrNiMo 6	980-1270	229	0.14-0.19
1.7131	16 MnCr 5	640-930	207	0.14-0.19
1.7262	15 CrMo 5	640-930	207	0.13-0.17
1.7326	25 MoCrS 4	780-1080	217	0.23-0.29
1.8504	34 CrAl 6	540-780	217	0.30-0.37
1.8506	34 CrAlS 5	440-930	217	0.30-0.37
1.8509	41 CrAlMo 7	735-980	262	0.38-0.45
1.8519	31 CrMoV 9	1080-1230	248	0.26-0.34
1.8523	39 CrMoV 139	1080-1420	262	0.35-0.42
1.8550	34 CrAlNi 7	1000-1470	245	0.30-0.37



**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2** Χάλυβες εργαλείων

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm <sup>2</sup>	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.1520	C 70 W1	640	190	0.65-0.74
1.1525	C 80 W1	640	190	0.75-0.85
1.1620	C 70 W2	640-760	190	0.65-0.74
1.1730	C 45 W	640-700	190-207	0.40-0.50
1.1830	C 85 W	760-830	225-248	0.80-0.90
1.2082	X 20 Cr 13	980-1370	200	0.17-0.22
1.2242	59 CrV 4	1080-1670	235	0.55-0.62
1.2311	40 CrMnMo 7	930-1470	230	0.35-0.45
1.2542	45 WCrV 7	1180-1470	225	0.40-0.50
1.2601	X165CrMoV12	1570-1960	231	1.55-1.75
1.2622	X60WcrMoV94	1470-2060	270	0.55-0.65
1.2710	45 NiCr 6	1180-1570	238	0.40-0.50
1.2726	26 NiCrMoV 5	1180-1420	240	0.22-0.30
1.2744	57 NiCrMoV77	1080-1670	248	0.50-0.60
1.2842	90 MnCrV 8	1370-1670	211	0.85-0.95
1.4120	X 20 CrMo 13	880-1470	260	0.17-0.22

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3** Χάλυβες θερμικής αντοχής

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm <sup>2</sup>	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.4700	8 CrSi 7 7	490-640	192	≤ 0.10
1.4712	X 10 CrSi 6	540-690	195	≤ 0.12
1.4713	X10CrAl7	420-620	192	≤ 0.12
1.4722	X10CrSi13	540-690	195	≤ 0.12
1.4724	X10CrAl13	450-650	192	≤ 0.12
1.4741	X10CrSi18	540-690	215	≤ 0.12
1.4742	X10CrAl18	500-700	212	≤ 0.12
1.4762	X10CrAl24	520-720	223	≤ 0.12
1.4821	X20CrNiSi254	600-850	235	0.10-0.20
1.4828	X15CrNiSi20 12	500-750	223	≤ 0.20
1.4841	X15CrNiSi2520	550-800	223	≤ 0.20
1.4845	X12CrNi2521	500-750	192	≤ 0.15
1.4861	X10NiCr3220	490-740	200	≤ 0.12
1.4864	X12NiCrSi3616	550-800	223	≤ 0.15
1.4876	X10NiCrAlTi3220	540-740	192	≤ 0.12
1.4878	X12CrNiTi189	500-750	192	≤ 0.12
1.5310	8 SiTi 4	350-500	151	≤ 0.10

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4** Χάλυβες ανοξείδωτοι

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΑΝΤΟΧΗ N/mm <sup>2</sup>	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ BRINELL HB	% C
1.4000	X 7 Cr 13	450-700	130-210	≤ 0.08
1.4001	X 7 Cr 14	-----	130-180	≤ 0.08
1.4002	X 7 CrAl 13	450-700	130-210	≤ 0.08
1.4005	X 12 CrS 13	590-780	170-210	≤ 0.15
1.4006	X 10 Cr 13	550-750	140-210	0.08-0.12
1.4016	X 8 Cr 17	450-600	130-170	≤ 0.08
1.4021	X 20 Cr 13	650-960	180-275	0.18-0.22
1.4024	X 15 Cr 13	650-800	180-230	0.13-0.17
1.4057	X 22 CrNi 17	800-950	225-275	0.14-0.23
1.4104	X 12 CrMoS 17	550-850	160-235	0.10-0.17
1.4113	X 6 CrMo 17	450-650	130-180	≤ 0.08
1.4116	X 45 CrMoV 15	900	260	0.42-0.48
1.4301	X 5 CrNi 18 9	500-700	130-180	≤ 0.07
1.4401	X 5 CrNiMo 18 10	500-700	130-180	≤ 0.07
1.4510	X 8 CrTi 17	450-600	130-170	≤ 0.07
1.4541	X 10 CrNiTi 18 9	500-750	130-190	≤ 0.08
1.4571	X10CrNiMoTi1810	500-750	130-190	≤ 0.08

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5** Αντιστοιχίες τυποποιημένων χαλύβων

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΜΒΟΛΟ ΚΑΤΑ DIN	ΣΥΜΒΟΛΟ AFNOR	ΣΥΜΒΟΛΟ B.S.	ΣΥΜΒΟΛΟ AISI-SAE
1.0301	C 10	C 10	040 A 10	M 1010
1.0401	C 15	C 12	040 A 15	M 1015
1.1121	Ck 10	XC 10	045 M 10	1010
1.1141	Ck 15	XC 18	080 M 15	1015
1.2842	90 MnCrV 8	90 MV8	BO 2	O 2
1.4000	X 7 Cr 13	Z 3 C 14	403 S 17	403
1.4002	X 7 CrAl 13	Z 6 CA 13	405 S 17	405
1.4016	X 8 Cr 17	Z 8 C 17	430 S 15	430
1.4301	X 5 CrNi 18 9	Z 6 CN18.09	304 S 15	304
1.4401	X5CrNiMo1810	Z6CND17.12	316 S 16	316
1.4541	X10CrNiTi18 9	Z6CNT18.10	321 S 12	321
1.4571	X10CrNiMoTi1810	Z6CNDT17.12	320 S 17S	320
1.5732	14 NiCr 10	14 NC 11	-----	3415
1.5752	14 NiCr 14	14 NC 12	655 A 12	E 3310

Σε ότι αφορά τους χρησιμοποιούμενους χάλυβες στο αυτοκίνητο έχουμε:

1. Από τους χάλυβες κατασκευών του πίνακα 2.1 κατασκευάζονται μηχανικά μικρά κομμάτια, λεβιέδες, σύνδεσμοι, χιτώνια, πείροι, οδοντωτοί τροχοί, σύνδεσμοι καρντάν, εκκεντροφόροι, αλυσίδες, πινιόν, ρουλεμάν, κιβώτια ταχυτήτων, άξονες, τροχαλίες αλυσίδων, ελατήρια διαφόρων τύπων, πείροι εμβόλων, πείροι αλυσίδων, άξονες γραναζιών, κλπ.
2. Από τους χάλυβες θερμικής αντοχής του πίνακα 2.3 κατασκευάζονται βαλβίδες εισόδου μέσης αντοχής για μηχανές κάθε είδους, βαλβίδες εξόδου για μηχανές υψηλών απαιτήσεων, πτερύγια στροβίλων τούρμπο, πόρτες, σκελετοί πόρτας, κλπ.
3. Από τους ανοξείδωτους χάλυβες του πίνακα 2.4 κατασκευάζονται μέρη των κινητήρων που απαιτούν αυξημένη αντοχή στη σκουριά, ανοξείδωτα ρουλεμάν, εξατμίσεις, μέρη βαλβίδων και αντλιών, πιστόνια, βάσεις βαλβίδων, πρόσωπα βαλβίδων, πρόσωπα ελατηρίων, σωληνάκια, σώματα βαλβίδων, κλπ.



**Φωτ. 2.10** Εξαρτήματα αυτοκινήτου από χάλυβες κατασκευών



**Φωτ. 2.11** Φυγοκεντρικός υπερσυμπιεστής με πτερύγια από χάλυβα θερμικής αντοχής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ-ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

### 3.1 Ανοξείδωτοι χάλυβες κατάλληλοι για τη κατασκευή αυτοκινήτων



Ανάμεσα στα υλικά που αντιστέκονται στη διάβρωση, ο ανοξείδωτος χάλυβας επιδεικνύει μια άριστη αντίσταση σε έναν μεγάλο αριθμό περιβαλλόντων, χάρη σε ένα φαινόμενο που είναι γνωστό ως **παθητικότητα**. Ο ανοξείδωτος χάλυβας προστατεύεται από το περιβάλλον του με τη δημιουργία μιας πολύ λεπτής μεμβράνης ή παθητικού στρώματος.

Αυτή συνδέεται ισχυρά με την επιφάνεια, πράγμα που εμποδίζει περαιτέρω άμεση επαφή ανάμεσα στο μέταλλο και στο λίγο έως πολύ επιθετικό περιβάλλον. Στον ανοξείδωτο χάλυβα, η παθητική επιφάνεια επίσης έχει το πλεονέκτημα, σε σύγκριση, για παράδειγμα, με ένα στρώμα βαφής, που είναι αυτό-ιάσιμη. Η χημική ή μηχανική βλάβη πάνω στη παθητική μεμβράνη θα επουλωθεί ή θα γίνει ξανά παθητική σε οξειδωτικά περιβάλλοντα.

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (ανθεκτικότητα, ισχύς, ικανότητα σφυρηλάτησης), η ευκολία χάλκευσης (ιδιαίτερα η ευκολία διαμόρφωσης), η άριστη αντίσταση κόπωσης και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας είναι μερικές από τις ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα που καθιστούν δυνατά τα συγκεκριμένα αιτήματα των δομικών συστατικών.

Ενώ η ισχύς είναι μια κυρίαρχη ιδιότητα, εάν ένα στοιχείο πρέπει να αντέξει ένα συγκεκριμένο φορτίο, η ανθεκτικότητα είναι η περιοριστική ιδιότητα, εάν ένα στοιχείο είναι ικανό να απορροφά μια συγκεκριμένη ποσότητα μηχανικής ενέργειας χωρίς να σπάσει.

Στις μηχανολογικές κατασκευές (δομές), η ισχύς συχνά πρέπει να συνδυάζεται με την ανθεκτικότητα, η οποία δείχνει το ποσοστό της ενέργειας που απορροφάται κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης και της θραύσης. Ανοξειδωτοί **ωστενιτικοί** (austenitic) και **ωστενιτικοί –φερριτικοί** (duplex) διπλής φάσης χάλυβες και **κεραμικά** συγκρίνονται στον πίνακα 1. Στους ανοξειδωτους austenitic και duplex χάλυβες, η αντοχή θραύσης είναι ανεξάρτητη από την θερμοκρασία, σε κλίμακα από -200 βαθμούς Κελσίου έως 50 βαθμούς Κελσίου.

**Πίνακας 1.** Μηχανικές ιδιότητες για ωστενιτικούς και φερριτο-ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες και τα κεραμικά υλικά.

Material	Yield strength $\sigma$ (MPa)	Toughness: Fracture Energy K (MPa x m <sup>1/2</sup> )
Ceramics	140 - 450	5
Austenitic and duplex Stainless Steels	240 - 1500	100

Τα συγκεκριμένα είδη ανοξειδωτου χάλυβα ανήκουν σε δύο οικογένειες, σύμφωνα με τη σύνθεση των στοιχείων των κραμάτων τους, η οποία καθορίζει τη μεταλλουργική δομή τους καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες. Αυτές οι δύο οικογένειες είναι:

α) Duplex- austenitic-ferritic ανοξειδωτοι χάλυβες.

Η πιο κοινά χρησιμοποιούμενη κλίμακα Duplex είναι το 0,02%C -22% Cr-5,5%Ni-3% Mo-0,15% N κράμα, του οποίου ο στάνταρ Ευρωπαϊκός καθορισμός είναι X2CrNiMoN22-5-3/1.4462.

β) Austenitic ανοξειδωτοι χάλυβες.

Αυτοί οι χάλυβες περιέχουν χρώμιο (18-30 τοις εκατό) και νικέλιο (6 έως 20 τοις εκατό) ως τα κυρίαρχα στοιχεία κράματος. Η austenitic φάση σταθεροποιείται με την παρουσία μιας επαρκούς ποσότητας νικελίου. Τα βασικά χαρακτηριστικά είναι η κατάσταση σφυρηλάτησης του austenitic χάλυβα, η γρήγορη ικανότητα σκλήρυνσης με ψυχρή κατεργασία και η άριστη αντίσταση στη διάβρωση.

Μια από τις πιο κοινά χρησιμοποιούμενες κλίμακες για δομικές εφαρμογές είναι το κράμα 0,02% C-17,5% Cr-7% Ni -0,15% N, του οποίου ο στάνταρ Ευρωπαϊκός καθορισμός είναι X2CrNiN 18-7/1.4318.

Η αξιοπιστία των αυτοκινήτων κατά τη σύγκρουση, που ορίζεται ως η ικανότητα της δομής του αυτοκινήτου να παρέχει στους επιβάτες του επαρκή προστασία από τραυματισμούς σε περίπτωση σύγκρουσης, παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των επιβατικών αυτοκινήτων. Επιπλέον, σήμερα η τάση της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι η αξιοπιστία κατά τη σύγκρουση να περιλαμβάνει την ικανότητα του αυτοκινήτου να αντέξει μικροατυχήματα με ελάχιστη ζημιά.

Αυτές οι διαφορετικές απαιτήσεις ασκούν συνήθως μεγάλη επιρροή στο σχεδιασμό της δομής του αυτοκινήτου. Ειδικά, γίνονται οι ακόλουθες θεωρήσεις :

- Χαμηλής ταχύτητας σύγκρουση (0-8 χιλιόμετρα την ώρα) με ελάχιστη ή καθόλου ζημιά. Συνήθως ο προφυλακτήρας ή το υποστηρικτικό του σύστημα θα απορροφήσει όλη την ενέργεια.
- Μεσαίας ταχύτητας σύγκρουση (13-20 χιλιόμετρα την ώρα) με χαμηλό κόστος επισκευής. Όλη η ενέργεια πρέπει να απορροφηθεί στην περιοχή της δομής που μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί ή να επισκευαστεί.
- Υψηλής ταχύτητας σύγκρουση ( 50-60 χιλιόμετρα την ώρα) με ελάχιστα ποσοστά τραυματισμών. Όλη η ενέργεια πρέπει να απορροφηθεί με επαρκή και ελέγξιμο τρόπο.

Η **ικανότητα απορρόφησης ενέργειας** κατά τη σύγκρουση είναι μια βασική ιδιότητα του υλικού που χρησιμοποιείται για δομικά μέρη ή και για ολοκληρωμένες δομές τα λεγόμενα «πλαίσια αμαξωμάτων»

Οι austenitic ανοξείδωτοι χάλυβες όπως οι Fe- Cr- Ni, οι οποίοι περιέχουν κράματα, είναι σε πλεονεκτική θέση απέναντι στα κράματα αλουμινίου και στους χάλυβες άνθρακα, επειδή παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό ευαισθησίας στη σύγκρουση. Αυτό σημαίνει ότι, όσο πιο γρήγορα εφαρμόζεται το φορτίο, τόσο πιο μεγάλη θα είναι η αντίσταση του υλικού στην παραμόρφωση. Επιπλέον, ο ανοξείδωτος χάλυβας έχει την ικανότητα να καταρρέει σταδιακά με τρόπο προκαθορισμένο και ελεγχόμενο.

Σε ότι αφορά την απορρόφηση ενέργειας, ο στόχος είναι να χειριστούμε την ενέργεια μιας σύγκρουσης με τρόπο προβλέψιμο και αξιόπιστο, με σκοπό να παρέχουμε την υψηλότερη προστασία στους επιβάτες των αυτοκινήτων, σε περίπτωση ατυχήματος. Οι κύριες ιδιότητες που περιλαμβάνονται σε αυτή την διαδικασία, είναι τα χαρακτηριστικά πίεση - επιμήκυνση. Η εξάρτηση αυτών των ιδιοτήτων από το φορτίο που συναντάται σε μια συντριβή είναι κυρίαρχης σημασίας. Αυτή η δυναμική ιδιότητα του μεταλλικού κράματος ονομάζεται ποσοστό ευαισθησίας στην επιμήκυνση.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι οποίοι είναι πολύ διάσημοι για την άριστη αντίστασή τους στη διάβρωση, επίσης επιδεικνύουν ένα συνδυασμό από ξεχωριστά χαρακτηριστικά τα οποία τους κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικούς στην εφαρμογή τους στην αυτοκινητοβιομηχανία.

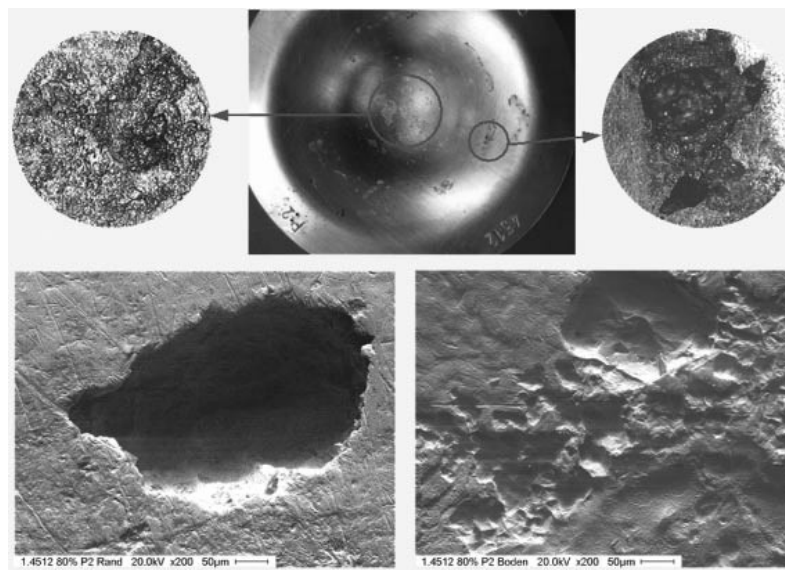
Στον έντονο ανταγωνισμό ανάμεσα στα διάφορα υλικά, τα προϊόντα ανοξείδωτου χάλυβα έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την αντίσταση στη διάβρωση, αντίσταση κόπωσης και την αντοχή κατά τη σύγκριση σε σχέση με τα κράματα αλουμινίου και τα υψηλής ισχύος χαμηλά κράματα χάλυβα.

Όπως φαίνεται και με παραδείγματα, οι ανοξείδωτοι χάλυβες (austenitic και duplex) φανερώνουν ιδιότητες που ανταποκρίνονται στις πιο αυστηρές απαιτήσεις για την αντιμετώπιση των συγκρούσεων. Αυτές οι απαιτήσεις που βασίζονται σε μεγάλα ποσοστά συνδεδεμένα με υψηλό δείκτη ευαισθησίας επιμήκυνσης και υψηλές ιδιότητες ισχύος, είναι τυπικές στους υψηλής ισχύος ανοξείδωτους χάλυβες (austenitic και duplex). Είναι αυτά τα χαρακτηριστικά μαζί με άλλα συνήθη οφέλη που κάνουν τον ανοξείδωτο χάλυβα ιδανικό υλικό για εφαρμογή στον τομέα αντοχής σύγκρουσης των επιβατικών αυτοκινήτων .

### 3.2 Χρήση των ανοξείδωτων χαλύβων στις εξατμίσεις των επιβατικών αυτοκινήτων



Φωτ. 3.1 Συστήματα εξάτμισης



Φωτ. 3.2

Τα συστήματα εξάτμισης των επιβατικών αυτοκινήτων είναι περίπλοκες κατασκευές (φωτ. 3.1). Διάφορες ανοξείδωτες και ανθεκτικές στη θερμότητα κατηγορίες χάλυβα χρησιμοποιούνται για να πετύχουμε έναν άριστο συνδυασμό ιδιοτήτων σε κάθε τμήμα.

Το θερμό μπροστινό μέρος του συστήματος εξάτμισης, (πολυμορφικοί σωλήνες, μετατροπέας καταλύτης) απαιτεί χάλυβα με υψηλή κλιμακωτή αντίσταση, μια ικανότητα να αντιστέκεται σε πιέσεις ταλάντωσης εξαιτίας της δόνησης, ελάχιστη ευπάθεια σε φθορές και έναν χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.

Στο κεντρικό τμήμα του συστήματος εξάτμισης (κεντρικός σιγαστήρας, συνδετικοί σωλήνες) απαιτείται αντίσταση τόσο στις υψηλές θερμοκρασίες όσο και στην υγρή διάβρωση. Κατ' εξάρτηση από τις τρέχουσες συνθήκες, ή θα επικρατούν θερμές συνθήκες (τέλεια μόνωση) ή θα κυριαρχεί υγρή διάβρωση (σε οδήγηση μικρής απόστασης).

Στο πίσω τμήμα (πίσω σιγαστήρας) η υγρή διάβρωση γίνεται ο κυρίαρχος παράγοντας. Μέσα στο σύστημα, η υγροποίηση των αερίων ανάφλεξης παράγει θειικό οξύ, θειούχο οξύ και χαμηλά επίπεδα υδροχλωρικού οξέος δημιουργώντας έτσι κρίσιμες καταστάσεις. Αυτές οι υγροποιήσεις, σε συνδυασμό με μια συσσώρευση χλωριούχων ιόντων, μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντική υγρή διάβρωση στις εσωτερικές επιφάνειες των εξαρτημάτων. Σε σύγκριση με αυτά, τα εξωτερικά διαβρωτικά φορτία εξαιτίας του νερού της βροχής, της σκόνης του δρόμου, του λασπωμένου χιονιού, και των λιωμένων αλάτων, είναι σχεδόν αμελητέα.

Οι απαιτήσεις υψηλής αντίστασης κάνουν τους ανοξείδωτους χάλυβες και αυτά που αντιστέκονται στη θερμότητα, τα κυρίαρχα υλικά για τα συστήματα εξάτμισης των αυτοκινήτων. Επίσης, επιδεικνύουν καλή ικανότητα επεξεργασίας και επιτρέπουν λεπτά και μικρού βάρους σχέδια. Η διαθεσιμότητα ποικίλων κατηγοριών χάλυβα με διαφορετικές συνθέσεις κραμάτων για διάφορες απαιτήσεις είναι ένα επιπλέον πλεονέκτημα.

Ακόμα και οι ανοξείδωτοι χάλυβες δεν κατέχουν απεριόριστη διαβρωτική αντίσταση και περιστασιακά αυτά τα όρια υπερβαίνονται στα συστήματα εξάτμισεων αυτοκινήτων. Εξετάσεις περιστατικών αποτυχίας έχουν δείξει ότι στο πίσω, υψηλής συμπίεσης τμήμα, η κύρια αιτία είναι η εσωτερική επίθεση από σημάδια διάβρωσης και ρωγμές που έχουν προκληθεί από χλωρίδιο. Αυτό παίρνει την μορφή σημαδιών στη επιφάνεια ή ανομοιογενούς τοπικής επίθεσης.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες υπόκεινται επίσης σε διάβρωση με σημάδια και ρωγμές σε πολλές άλλες εφαρμογές. Η αντίσταση διαφόρων κατηγοριών χαλύβων σε αυτό το είδος της έκθεσης μπορεί γενικά να συγκριθεί με βάση τη σύνθεση των κραμάτων τους και μέσω του αντίστοιχου αριθμού της αντίστασής του.

Παρόλα αυτά, αυτό τίθεται προς διερεύνηση σε ότι αφορά τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στα συστήματα εξάτμισης των αυτοκινήτων, με την συχνή υγρή/ξηρή εναλλαγή και τους μικρούς χρόνους λειτουργίας σε σύγκριση με τον πλήρη κύκλο ζωής τους. Σημαντικό εδώ δεν είναι μόνο η αντίσταση στην απαρχή της διάβρωσης, αλλά το πώς η διάβρωση κυμαίνεται με σκοπό να επιτύχουμε μεγάλη διάρκεια ζωής του συστήματος.



Αν η διάβρωση έχει ήδη αρχίσει, ο ρυθμός αποσύνθεσης πρέπει συνεπώς να είναι αργός και ιδιαιτέρως το υλικό πρέπει να κατέχει την ικανότητα να αδρανοποιείται αργά κατά τη διάρκεια των περιόδων μη-λειτουργίας. Κατά αυτή την έννοια, το κράμα στοιχείων νικελίου για παράδειγμα θα πρέπει να έχει επίσης ένα ευνοϊκό αποτέλεσμα.

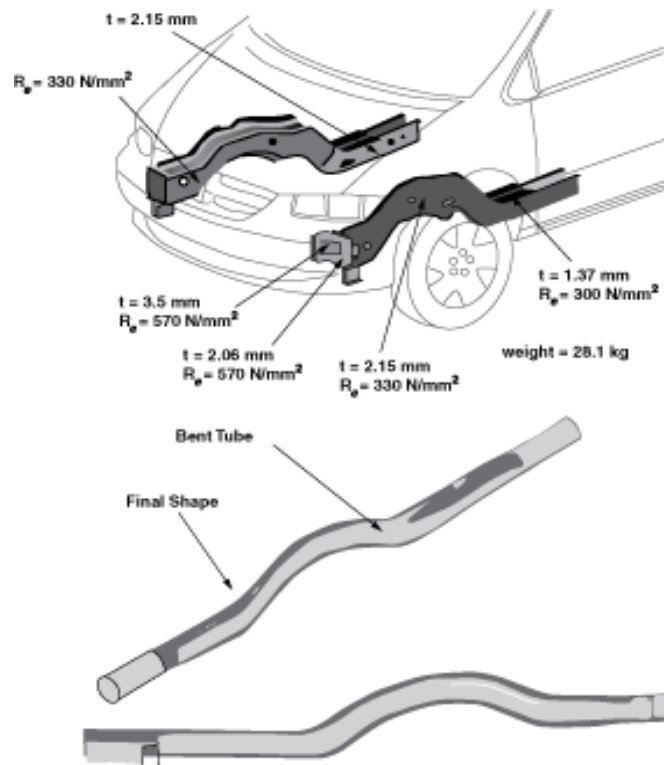
Για να συγκριθεί η καταλληλότητα διαφόρων ανοξειδωτων χαλύβων για χρήση στα υγρά τμήματα των συστημάτων εξάτμισης των αυτοκινήτων, χρειάζεται να γίνουν έλεγχοι όπου θα ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του φορτίου διάβρωσης.

Οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη:

1. Η εναλλαγή υγρού/ξηρού.
2. Επίδραση σε χλωριούχα ιόντα που περιέχουν όξινο μέσο.
3. Παρουσία ηλεκτροχημικού δραστικού άνθρακα (που βρίσκεται με τη μορφή μορίων αιθάλης στα συστήματα).

### **3.3 Χάλυβες πολύ υψηλής αντοχής στην αυτοκινητοβιομηχανία**





Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του **Κιότο**, οι πιο προηγμένες βιομηχανικά χώρες πρέπει να πετύχουν μέσα στο 2008-2012 μια μείωση 5,2% στις εκπομπές ρύπων.

Η μείωση εκπομπών ρύπων και οι αυξανόμενες απαιτήσεις ασφαλείας έχουν πολύ επηρεάσει τη χρήση των χαλύβων πολύ υψηλής αντοχής. Για να πετύχει κανείς αυτά τα δύο αποτελέσματα, ο καλύτερος τρόπος είναι να μειώσει το βάρος των οχημάτων χάριν σε πιο κατάλληλα υλικά. Αλλά είναι φανερό πως στην αλυσίδα παραγωγής χάλυβα, είναι σημαντικό να εμπλακούν νέα μέλη που δεν ενδιαφέρονταν πριν. Εργοστάσια παραγωγής χάλυβα, κατασκευαστές χρωμάτων. Αυτό σημαίνει μια γενική αλλαγή σε ότι αφορά τη νοοτροπία και τον τρόπο εργασίας που στις μέρες μας δεν μπορεί να περιμένει άλλο.

Η χρήση των UHSS (Ultra High Strength Steels) χαλύβων παρουσιάζει αύξηση στα πρόσφατα μοντέλα της αυτοκινητοβιομηχανίας (π.χ. FIAT).

Οι μηχανικοί της FIAT με τα υλικά που έχουν επιλέξει, έχουν σκοπό να αποφύγουν κάποια προβλήματα που προκάλεσαν την αποτυχία αυτών σε προηγούμενες εφαρμογές.

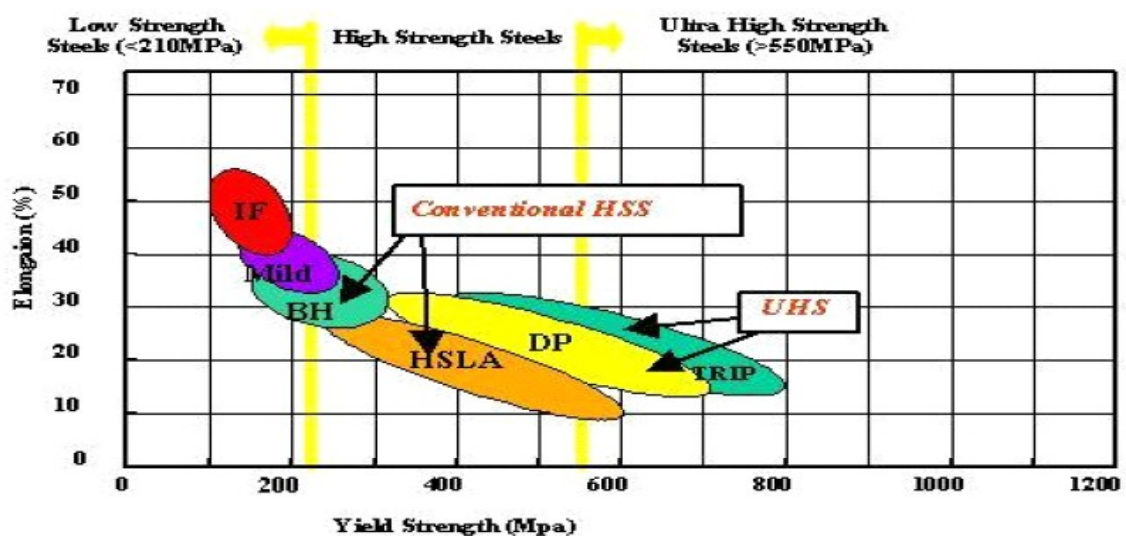
Επιπλέον, οι αυξανόμενες τεχνολογικές πληροφορίες που έχουν δοθεί από τους μηχανικούς των υλικών της FIAT και τα εργοστάσια χάλυβα, επέτρεψαν στην τεχνολογική κατεύθυνσή της να δημιουργήσει ένα αξιόπιστο εικονικό μοντέλο.

Τα φύλλα χάλυβα που χρησιμοποιούνται από τη FIAT είναι τα ίδια με τους άλλους Ευρωπαίους κατασκευαστές αυτοκινήτων (Φωτ. 3.3)

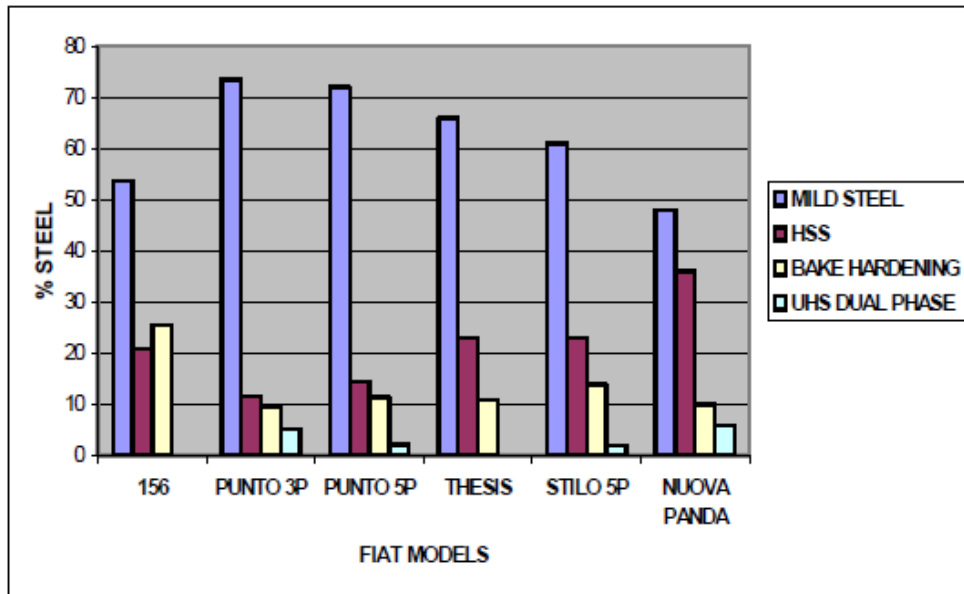
- Παραδοσιακός (βαθιάς-χάραξης χάλυβας)
- Χάλυβας Υψηλής αντοχής - HSS
- Χάλυβας πολύ υψηλής αντοχής - UHSS

Από την άλλη μεριά, η ανάμειξη φύλλων χάλυβα είναι διαφορετική ανάμεσα στους Ευρωπαίους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για μείωση του βάρους ενόησε τη χρήση των πολύ ισχυρών χαλύβων, που είχαν πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και καλή ικανότητα εντύπωσης.

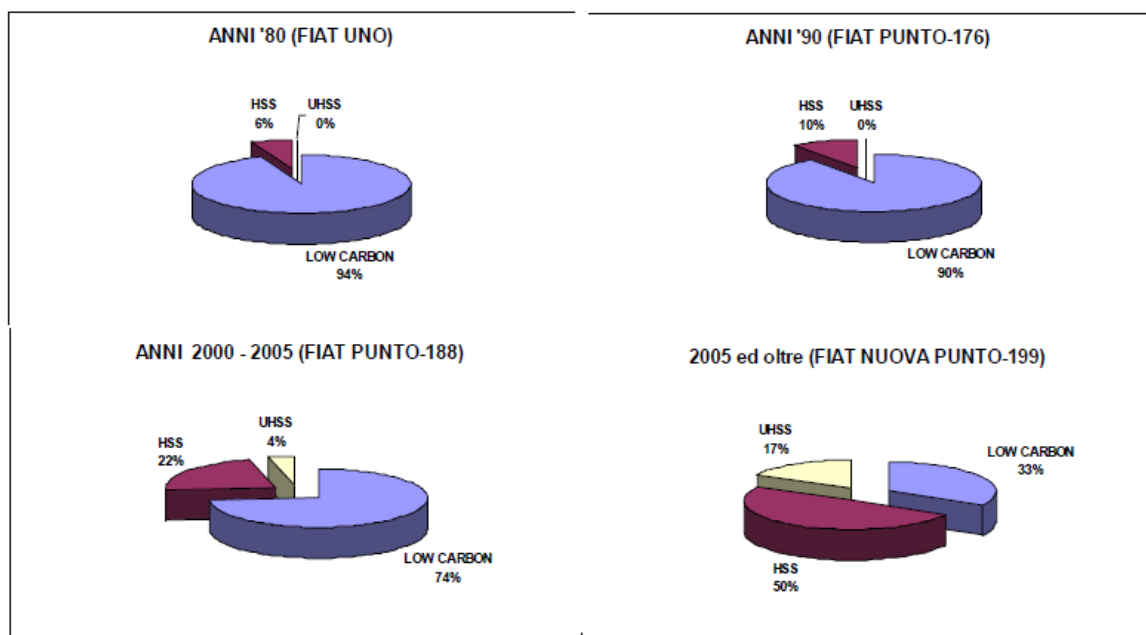
Εάν η μείωση βάρους είναι η λύση για να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων, είναι σημαντικό να σκεφτούμε τον ολοκληρωμένο κύκλο ζωής (Life Cycle Analysis) των ελαφρόβαρων εξαρτημάτων.



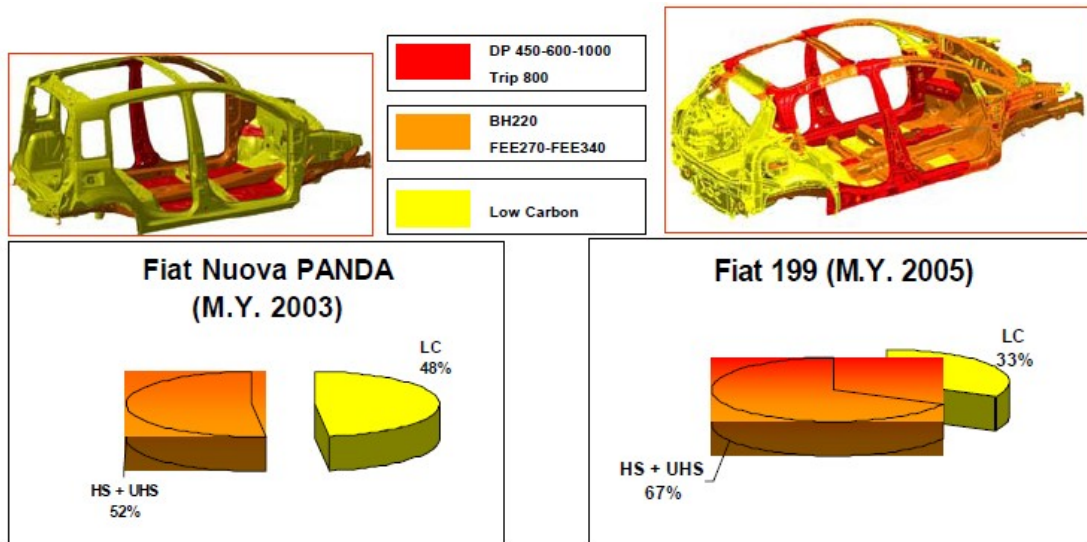
Φωτ. 3.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Χαλύβων



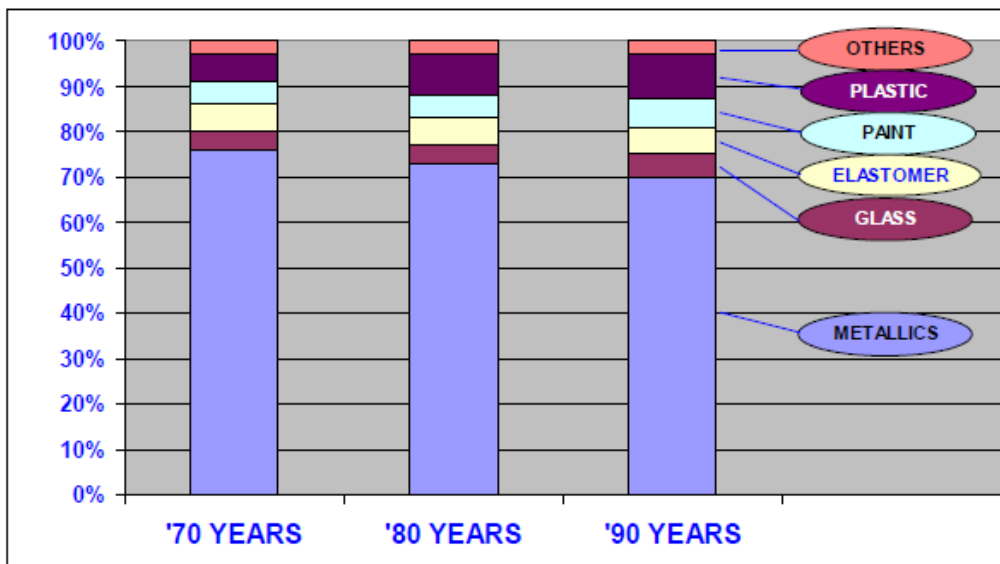
**Φωτ. 3.4** Αύξηση της χρήσης των χαλύβων από τη FIAT (Mild Steel=Χάλυβας με μικρό ποσοστό άνθρακα)



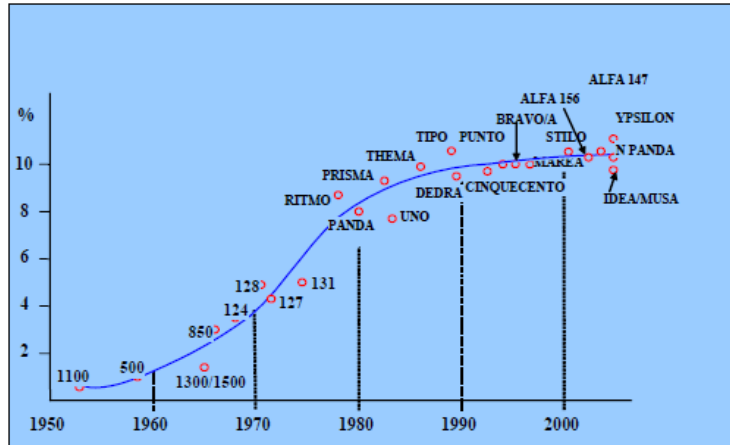
**Φωτ. 3.5** Χρήση Χαλύβων από τη FIAT σε διαφορετικές εκδόσεις του ίδιου μοντέλου.



**Φωτ. 3.6** Χρήση υψηλής αντοχής και πολύ υψηλής αντοχής χάλυβα επίσης στα τελευταία μοντέλα της FIAT.

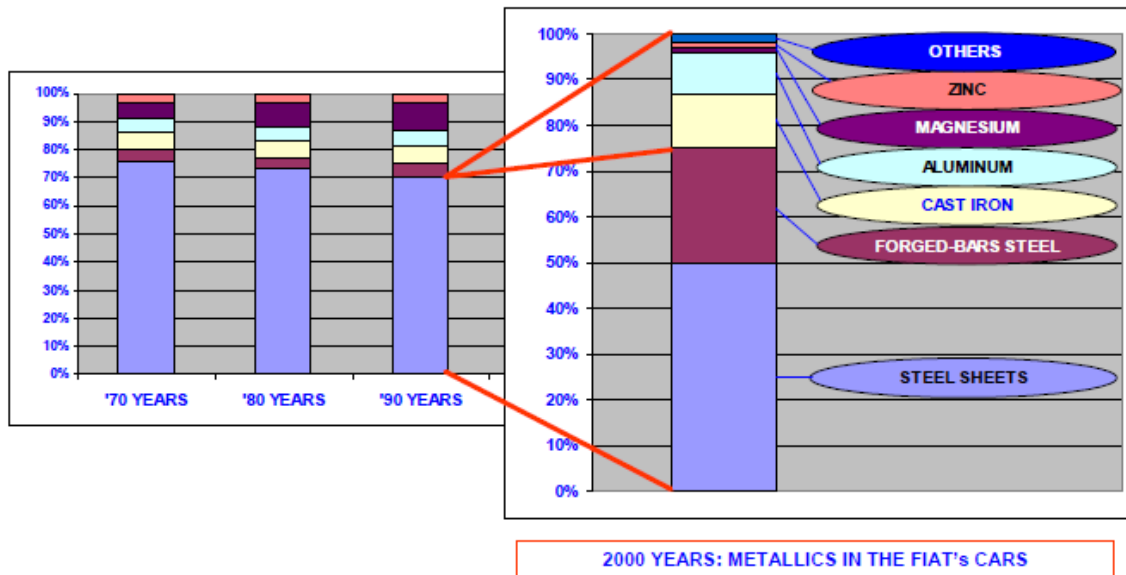


**Φωτ. 3.7** Τα τελευταία 30 χρόνια η μείξη υλικών αυτοκινήτων δεν έχει αλλάξει πάρα πολύ.

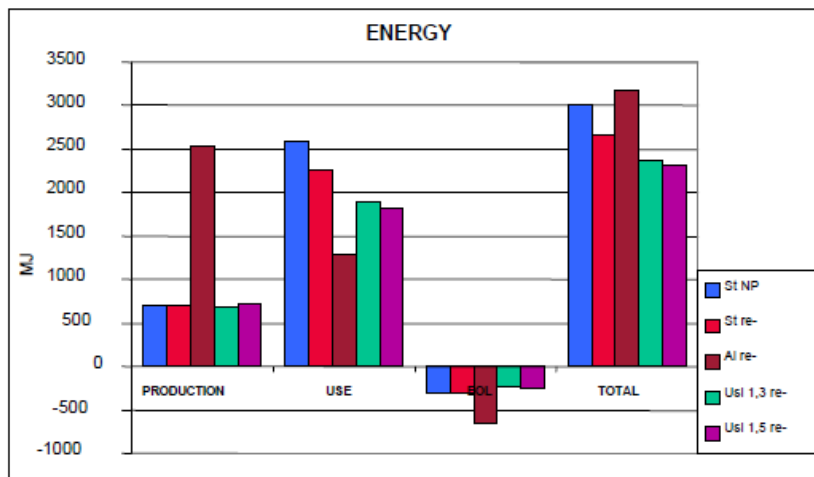


**Φωτ. 3.8** Ανάπτυξη των πλαστικών υλικών.

Η πορεία των τελευταίων δεκαετιών δείχνει ότι στο μέλλον δεν θα υπάρξουν πιθανόν σημαντικές αλλαγές. Τα μεταλλικά υλικά καταλαμβάνουν πάντα το μεγαλύτερο μερίδιο (>70%). Ανάμεσα στα μεταλλικά υλικά, ο χάλυβας είναι αυτό που χρησιμοποιείται περισσότερο (75%), ενώ τα φύλλα χάλυβα ανέρχονται στο 50% ( Φωτ. 3.9)



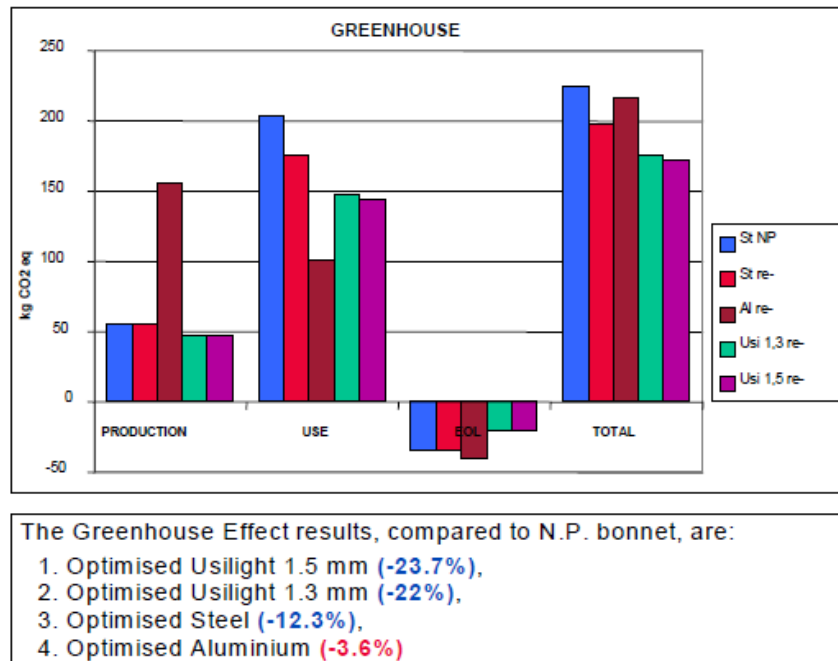
**Φωτ. 3.9** Ποσοστά μεταλλικών υλικών



The Energy Consumption results, compared to N.P. bonnet, are:

1. Optimised Usilight 1.5 mm **(-22.9%)**,
2. Optimised Usilight 1.3 mm **(-21.7%)**,
3. Optimised Steel **(-11.8%)**,
4. Optimised Aluminium **(+5.4%)**

**Φωτ. 3.10** Ενεργειακή κατανάλωση των διαφορετικών λύσεων



**Φωτ. 3.11** Φαινόμενο του Θερμοκηπίου των διαφορετικών λύσεων

- Οι λύσεις με βελτιωμένο χάλυβα φαίνονται πιο φιλικές περιβαλλοντικά και πιο οικονομικές από αυτές με το αλουμίνιο.

Η μείωση βάρους του αμαξώματος θα είναι πάντα ένα σημαντικό θέμα, αλλά πρόσφατα τα θέματα ασφαλείας γίνονται όλο και πιο σημαντικά.

Τα Ευρωπαϊκά στάνταρ σύγκρουσης (EURO-NCAP), τα οποία δημοσιεύονται στα ειδικά περιοδικά είναι ένας αποφασιστικός παράγοντας για τον πελάτη. Έτσι, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων πρέπει να φτάσουν αυτούς τους στόχους και οι κατασκευαστές χάλυβα πρέπει να παράγουν υψηλής απορροφητικότητας ενεργειακά υλικά.

Η χρήση των HSS-UHSS χάλυβων έχει παρουσιάσει αύξηση στα πρόσφατα μοντέλα της FIAT για αυτό το λόγο και η εταιρία έχει εργαστεί με τους πιο σημαντικούς κατασκευαστές χάλυβα, (ARCELOR, ILVA, VOEST, ALPINE, THYSSEN) για να εισάγει στα νέα μοντέλα την πιο τελευταία τεχνολογία.



## Πίνακας I

*Tab. I – Mechanical properties of materials used by FIAT*

DESIGNATION	MINIMUM YIELD STRENGTH		MINIMUM TENSILE STRENGTH		MINIMUM ELONG. <sub>80</sub>		MINIMUM n VALUE		MINIMUM BH EFFECT
	from	to	from	to	from	to	from	to	
CR MILD STEEL (5 TYPES)	120	140	270		26	38	0,16	0,22	
HR MILD STEEL (3 TYPES)	180	210	270	310	25	34	0,14	0,18	
BH (2 TYPES)	180	200	300	305	32	34	0,15		80
HR DP (3 TYPES)	300	380	580	780	14	19	0,11	0,18	30
CR DP (6 TYPES)	250	820	450	1180	3	27	0,08	0,19	30
HR FB (4 TYPES)	310	600	450	780	12	25			
HR TRIP (3 TYPES)	400	450	590	780	15	23			
CR TRIP (3 TYPES)	380	480	590	780	20	26	0,17	0,19	30




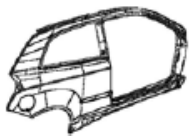
Ο Πίνακας I δείχνει τις μηχανικές ιδιότητες αυτών των υλικών σύμφωνα με τις προδιαγραφές της FIAT.

## Πίνακας II

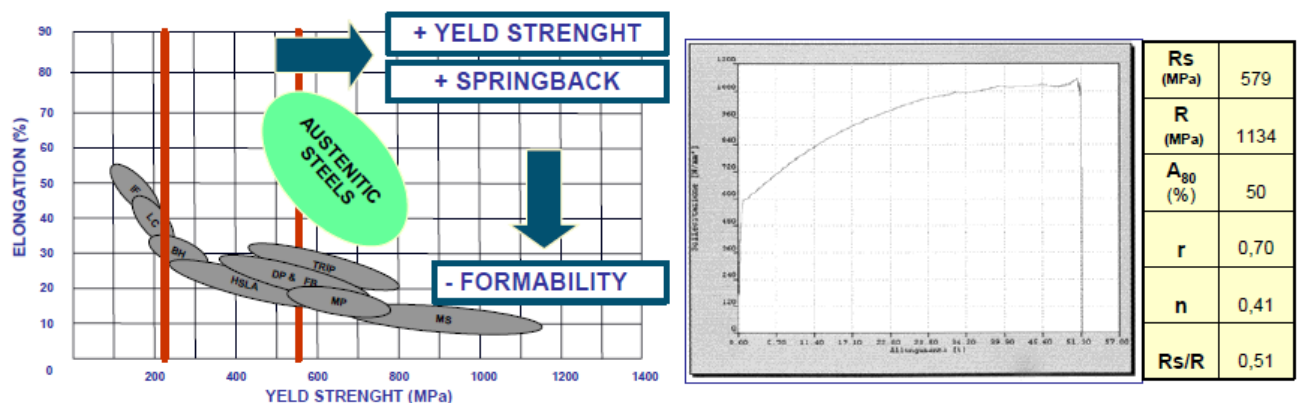
DESIGNATION	MINIMUM YIELD STRENGTH		MINIMUM TENSILE STRENGTH		MINIMUM ELONG. <sub>80</sub>	
	from	to	from	to	from	to
MARTENSITIC STEEL (4 TYPES)	700	1200	900	1500	3	6
MULTIPHASE STEEL (5 TYPES)	620	1050	750	1350	4	10

Ο Πίνακας III που ακολουθεί, δείχνει τις κατευθυντήριες γραμμές που δίνει η FIAT για την επιλογή των φύλλων χάλυβα. Στη στήλη 1 υπάρχουν τα ονόματα των εξαρτημάτων, στη στήλη 2 οι κύριες χρήσεις των εξαρτημάτων, στην τρίτη τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται, στην τέταρτη τα υλικά που πρόσφατα εισήχθησαν (με την προοπτική μείωσης βάρους και αύξησης σύγκρουσης) και στην πέμπτη τα υλικά που θα εισαχθούν στο άμεσο μέλλον (όταν οι κατασκευαστές χάλυβα θα είναι έτοιμοι να προτείνουν νέα πιο αξιόπιστα είδη αυτού).

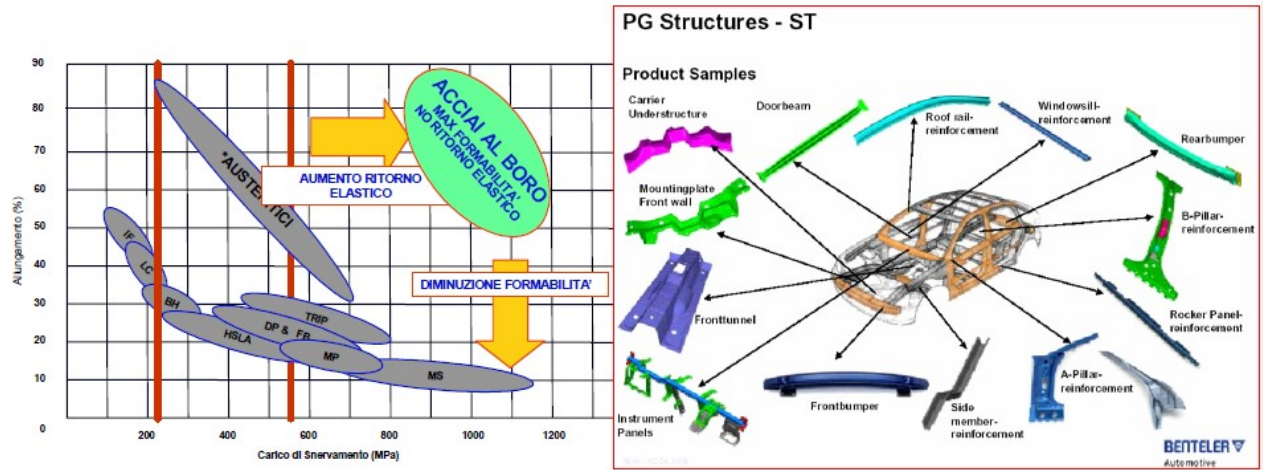
### Πίνακας III

COMPONENTI		FUNZIONE	SOLUZIONI MATERIALE:		
			STANDARD	FUNZIONALE	DI PUNTA
RINFORZO E SCATOLAMENTO MONTANTE CENTRALE		assorbimento energia, rigidezza, resistenza a sforzi eccezionali, fatica	LC	DP	TRIP
			BH	MP	
			HSLA		
RINFORZO MONTANTE ANTERIORE		assorbimento energia, rigidezza, resistenza a sforzi eccezionali, fatica	LC	DP	TRIP
			HSLA	FB	
			BH		
LONGHERINA E RINFORZO MONTANTE PARABREZZA		rigidezza, resistenza a sforzi eccezionali, fatica, indeformabilità	LC	DP	TRIP
			BH	FB	
FIANCATE ESTERNE		rigidezza dent resistance	LC	BH	DP
				P	
			OPPORTUNITA' TECNOLOGICA		TAILORED BLANK

Σήμερα η FIAT εργάζεται μαζί με τα εργοστάσια χάλυβα για να εισαγάγει νέας τεχνολογίας φύλλα χάλυβα. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι η ανάπτυξη των austenitic χαλύβων όπου ο κατασκευαστής παράγει βιομηχανικά το προϊόν και η FIAT το ελέγχει με όρους μεταλλουργίας, συγκολλητικότητας, ικανότητας βαφής, αντίστασης στη διάβρωση. Τελικά, κάποια πρότυπα θα κατασκευαστούν για να αξιολογηθεί η πιθανή εισαγωγή στην παραγωγή.

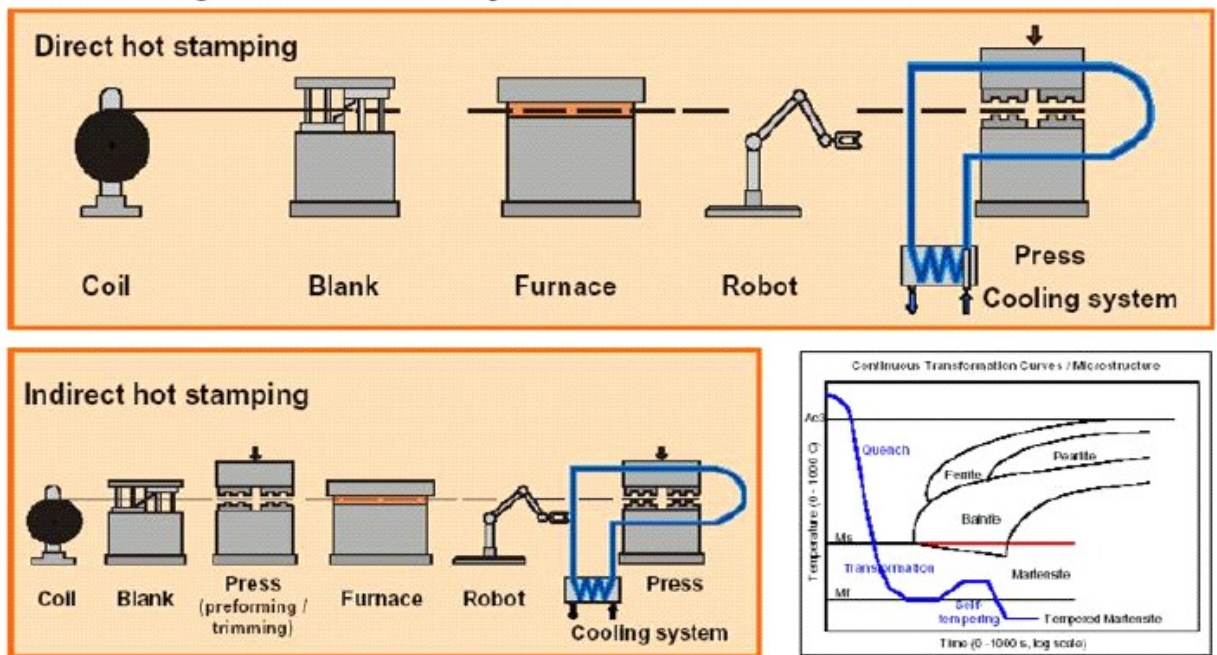


Φωτ. 3.12 Χάλυβες Austenitic ( Springback=Επαναφορά)



**Φωτ. 3.13** Τα πιθανά εξαρτήματα που μπορούν να μορφοποιηθούν με θερμότητα.

### Hot Forming Processes used by Benteler



**Φωτ. 3.14** Επεξεργασία θερμής διαμόρφωσης (άμεσης ή έμμεσης).

Αποτελείται ουσιαστικά από :

- Γαρνίρισμα
- Θέρμανση άνω των 900 βαθμών Κελσίου.
- Θερμή διαμόρφωση.
- Σβήσιμο.

### 3.4 Διάβρωση ανθρακοχαλύβων που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή αυτοκινήτου



Διάφοροι τύποι ρουλεμάν



Κοχλίες από ανθρακούχο χάλυβα



Καπάκια στεγανοποίησης

**Φωτ. 3.15** Διάφορα στοιχεία μηχανών με εφαρμογή στα αυτοκίνητα

Στην εποχή μας οι χρήστες αυτοκινήτων αντιμετωπίζουν ένα μεγάλο πρόβλημα εξαιτίας της διάβρωσης, η οποία επηρεάζει όλα τα μέρη του αμαξώματος ενός αυτοκινήτου. Η **διάβρωση** στο αμάξωμα ενός αυτοκινήτου είναι το αποτέλεσμα της ροής του ηλεκτρισμού από τη μια περιοχή του μετάλλου (του αυτοκινήτου), η οποία δεν οξυγονώνεται καλά (η οποία αντιδρά σαν αρνητικό ηλεκτρόδιο), σε μια άλλη περιοχή, στην οποία υπάρχει μεγάλη παροχή οξυγόνου (η οποία είναι το θετικό ηλεκτρόδιο) παρουσία νερού ή ενός ηλεκτρολύτη.

Ο κακός σχεδιασμός είναι η βασική αιτία διάβρωσης του αμαξώματος αυτοκινήτου. Συνήθως, οι σχεδιαστές αμαξωμάτων ανταποκρίνονται στη δυνατότητα πωλήσεων με το σχεδιασμό ελκυστικών σχημάτων και οι λογιστές ελέγχουν το κόστος για να ανταπεξέλθουν στον ανταγωνισμό των τιμών. Συνεπώς, δεν υπάρχει αρκετή πρόβλεψη σχετικά με την αποφυγή της διάβρωσης. Αυτός ο παράγοντας προφανώς αυξάνει την πιθανότητα της διάβρωσης.

Το αμάξωμα των αυτοκινήτων συνήθως υποφέρει από διάβρωση με σχισμές και από γενική διάβρωση. Η διάβρωση σχισμών συνήθως συμβαίνει όταν μικρές στενώσεις (κενά) γεμίζουν με νερό. Όταν μεταλλικά φύλλα εξαρτημάτων συγκολλώνται μαζί ή πάνω σε άλλα μέλη, βραχίονες κλπ, στενά κενά δημιουργούνται σχεδόν πάντα ανάμεσα στα φύλλα.

Η γενική διάβρωση γενικά συμβαίνει στα οχήματα σε μεγάλες περιοχές μη επιστρωμένου χάλυβα, συχνά σε στεφάνες τροχών, όπου το χαλίκι που πετιέται από τους τροχούς έχει φθείρει την προστατευτική επίστρωση χρώματος και το υλικό του αμαξώματος. Η γενική διάβρωση επίσης συμβαίνει σε τμήματα του αμαξώματος και σε δοκούς που έχουν διαπεραστεί από υγρασία.

Κατά συνέπεια, η επίστρωση παίζει ένα κυρίαρχο ρόλο στην προστασία των αμαξωμάτων από τη διάβρωση. Διάφορα είδη επίστρωσης χρησιμοποιούνται από κατασκευαστές για την παραγωγή καλύτερων αμαξωμάτων για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των πελατών. Παρόλα αυτά ο παράγοντας του κόστους περιορίζει αυτή την προστασία.

Μια έρευνα που έγινε στο τεχνολογικό πανεπιστήμιο της Μαλαισίας, βασίζεται σε επιστρώσεις αμαξωμάτων οι οποίες είναι σήμερα διαθέσιμες στην αγορά. Τρία αυτοκίνητα, τα οποία θα αναφέρονται σαν Μοντέλο 1, Μοντέλο 2 και Μοντέλο 3 έχουν επιλεγεί.

Η επιστρωμένη και μη-επιστρωμένη πλάκα (δοκίμιο) αυτών των αμαξωμάτων υπόκειται σε δύο επιταχυμένους ελέγχους διάβρωσης, οι οποίοι είναι ο **Ψεκασμός Άλατος** (έλεγχος ASTM B 117-90) και η **Αντίσταση στη Διάβρωση** Επιστρωμένων δειγμάτων χάλυβα, κυκλική μέθοδος, (έλεγχος ASTM D 2933-74).

Η αποτελεσματικότητα της επίστρωσης μελετήθηκε συγκρίνοντας την συμπεριφορά διάβρωσης και την επίδοση ανάμεσα σε επιστρωμένες και μη-επιστρωμένες πλάκες κάθε αυτοκινήτου ξεχωριστά, και τελικά έγινε σύγκριση ανάμεσα σε επιστρωμένες και μη-επιστρωμένες πλάκες και των τριών αμαξωμάτων.

Οι πλάκες των αμαξωμάτων, όπως αυτές ελήφθησαν, κόπηκαν σε μικρότερα δείγματα με διαστάσεις 100mm x 50mm x 1mm. Επτά πλάκες διατέθηκαν για τα επιστρωμένα δείγματα και πέντε πλάκες για μη-επιστρωμένα δείγματα.

Τα μη-επιστρωμένα δείγματα δημιουργήθηκαν με την απόσπαση από αυτά των στρωμάτων επίστρωσης, με την χρήση ενός διαλυτικού χρώματος, το οποίο είναι ένα πολύ γνωστό λεπτό τζελ για την απόσπαση όλων των ειδών χρωμάτων και γυαλιστικών.

Ανάλυση των συστατικών πραγματοποιήθηκε στα στρώματα επίστρωσης και στο υπόστρωμα χάλυβα με τη χρήση της Ανάλυσης Διασποράς Ενέργειας X-Ray (EDX) και με ArK Spark Spectrometer για την αναγνώριση των παρόντων στοιχείων και τον καθορισμό της σύνθεσης κάθε στρώματος.

Για τον έλεγχο διάβρωσης τα δείγματα πλύθηκαν σε καθαρό τρεχούμενο νερό και στεγνώθηκαν αμέσως με ρεύμα συμπιεσμένου αέρα.

Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε έλεγχο (ASTM B 117-90) Ψεκασμού Άλατος και σε (ASTM D 2933-74) για δεκατέσσερις μέρες συνεχώς. Τα δείγματα καθαρίστηκαν σε διάλυμα ηλεκτρολύτη 75 γρ. Υδροξείδιο Νατρίου (NaOH), Θειούχο Νάτριο (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και Ανθρακούχο Νάτριο (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) και σε 1000 ml αποσταγμένου νερού που ακολουθήθηκε από υπερηχητικό καθαρισμό.

Στο τέλος, τα δείγματα κατονομάζονται και μοιράζονται σε κάθε επιταχυμένο έλεγχο διάβρωσης όπως δείχνει ο πίνακας 1.

**Πίνακας 1:** Δείγματα που διατίθενται για έλεγχο ASTM B 117-90 και ASTM D 2933-74

	ASTM B 117-90		ASTM D 2933-74	
	type of sample	type of sample	no. of samples	no. of samples
model 1	Uncoated	Uncoated	S4, S5 S5,	S2, S3 S2,
	Coated	Coated	S6, S7	S3, S4
model 2	Uncoated	Uncoated	S4, S5 S5,	S2, S3 S2,
	Coated	Coated	S6, S7	S3, S4
model 3	Uncoated	Uncoated	S4, S5 S5,	S2, S3 S2,
	Coated	Coated	S6, S7	S3, S4

Κατά βάση, ένα αμάξωμα περιέχει δύο ή τρία στρώματα διαφορετικών ειδών επίστρωσης. Αυτά είναι η μεταλλική «θυσιαζόμενη» επίστρωση, η πρώτη (αντισκωρική) επίστρωση και η επίστρωση χρώματος (χρώμα και βερνίκι). Παρόλα αυτά, κάποιοι κατασκευαστές αυτοκινήτων δεν περιλαμβάνουν την «θυσιαζόμενη» μεταλλική επίστρωση για λόγους οικονομικούς.

Για το Μοντέλο 1, το σύστημα επίστρωσης αποτελείται από την μεταλλική «θυσιαζόμενη» επίστρωση, την πρώτη επίστρωση και την επίστρωση χρώματος. Όσο για τα Μοντέλα 2 και 3, τα συστήματα επίστρωσης αποτελούνται μόνο από πρώτη επίστρωση και επίστρωση χρώματος.

Ο πίνακας 2 δείχνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης EDX σε κάθε στρώμα του συστήματος επίστρωσης και για τα τρία μοντέλα.. Το Μοντέλο 1 έχει επιπλέον Zn-Fe «θυσιαζόμενη» μεταλλική επίστρωση.

Η πρωταρχική επίστρωση και η επίστρωση μεταλλικής βάσης και για τα τρία μοντέλα είναι περίπου η ίδια, αφού τα παρόντα υλικά είναι παρόμοια. Και τα τρία μοντέλα χρησιμοποιούν TiO<sub>2</sub> (λευκό) σαν χρωστική ουσία στη μεταλλικής βάσης επίστρωσή τους.

Το οξείδιο του Τιτανίου είναι μία από τις πιο δημοφιλείς λευκές χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις βαφές των αμαξωμάτων ή στην τελική επίστρωση.

Από την ανάλυση συστατικών με τη χρήση του Arc Spark Spectrometer, το μέταλλο του υποστρώματος αναγνωρίστηκε ως ultra χάλυβας χαμηλού άνθρακα. Το χαλύβδινο υπόστρωμα του Μοντέλου 1 και του Μοντέλου 2 περιέχει 0,01% άνθρακα, ενώ του Μοντέλου 3 περιέχει 0,043% άνθρακα.

**Πίνακας 2.** Παρόντα στοιχεία στο σύστημα επίστρωσης

	Sacrificial metallic coating	Primer (antirust) coating	Paint (color and gloss) coating
Model 1	Zn-Fe alloy	Al, Ti, O, Si, Pb	Ti, C, O, Si, Mo, Al
Model 2	-	Fe, O, Pb, Si, Al, Ti, Zn	Ti, C, Si, Al, O
Model 3	-	Si, Al, Mg, Ca, Zn	Ti, C, Al, O

Μικροσκοπική εξέταση εφαρμόστηκε και για τα επιστρωμένα και για τα μη-επιστρωμένα δείγματα. Τα δείγματα αναλύθηκαν και στην επιφάνεια αλλά και σε διασταυρωτά τμήματα με σκοπό να καθοριστεί το είδος και η συμπεριφορά διάβρωσης αντίστοιχα.

Τα σχήματα 1 και 2 δείχνουν τη μικροσκοπική σύγκριση ανάμεσα στα μη επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων, σε επιφάνεια και διασταυρωτά αντίστοιχα, ενώ τα σχήματα 3 και 4 δείχνουν τη μικροσκοπική σύγκριση ανάμεσα στα επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων σε επιφάνεια και διασταυρωτά αντίστοιχα.

Για το Μοντέλο 1 το μη επιστρωμένο δείγμα διαβρώθηκε ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια και στους δύο ελέγχους, αλλά το αποτέλεσμα του Ψεκασμού Άλατος ήταν πολύ πιο έντονο από το αποτέλεσμα του Κυκλικού ελέγχου. Συνεπώς, το είδος της διάβρωσης εδώ μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομοιόμορφη διάβρωση.

Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκαν καθόλου ρωγμές, λακούβες ή άλλα είδη διάβρωσης (διασταυρωτό τμήμα). Από την άλλη πλευρά, τα επιστρωμένα δείγματα δεν διαβρώθηκαν αλλά το χρώμα και η γυαλάδα ξεθώριασαν. Δεν υπήρξε κανένα προϊόν διάβρωσης κάτω από τη μεμβράνη επίστρωσης (filiform corrosion).

Επιπλέον, το αποτέλεσμα ελέγχου EDX δείχνει ότι δεν υπήρξαν ιόντα χλωρίου ανάμεσα στις μεμβράνες επίστρωσης. Κατά συνέπεια, μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι η πυκνότητα της διασταυρωτής σύνδεσης στο σύστημα επίστρωσης του Μοντέλου 1 είναι καλή.

Για το Μοντέλο 2, η μικροσκοπική εξέταση και η ανάλυση EDX δείχνει τα ίδια αποτελέσματα όπως και στο Μοντέλο 1, και στους δύο ελέγχους, με εξαίρεση ότι το μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 2 διαβρώνεται πολύ πιο έντονα από το μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 1. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει η παρουσία στρώματος ψευδαργύρου στο μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 2. Έτσι το χαλύβδινο υπόστρωμα ήταν ευάλωτο στο περιβάλλον διάβρωσης.

Για το Μοντέλο 3 το μη-επιστρωμένο δείγμα οξειδώνεται σχεδόν με τον ίδιο τρόπο όπως το μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 2 και στους δύο ελέγχους. Και τα δύο αυτά Μοντέλα δεν έχουν καθόλου ψευδάργυρο.

Για το επιστρωμένο δείγμα, φουσκάλες παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια της πλάκας, ακόμα και αν το σύστημα επίστρωσης που χρησιμοποιήθηκε στο Μοντέλο 3 είναι σχεδόν όμοιο με του Μοντέλου 2. Αυτό προκλήθηκε από τις αρχικές μικρογρατσουνιές, στην επιφάνεια της επίστρωσης χρώματος.

Ανάλυση των διασταυρωτών τμημάτων δείχνει ότι δεν υπήρξε προϊόν διάβρωσης κάτω από τη μεμβράνη επίστρωσης ή σημάδια διάβρωσης (filiform). Παρόλα αυτά, ιόντα χλωριδίου εντοπίστηκαν ανάμεσα στις μεμβράνες επίστρωσης. Αυτό αποδεικνύει ότι τα ιόντα χλωριδίου έχουν ήδη διαπεράσει το σύστημα επίστρωσης.

Τα μόρια οξυγόνου και νερού μπορούν να απλωθούν μέσα από ένα διάτρητο σύστημα επίστρωσης. Παρόλα αυτά, το σύστημα επίστρωσης αμαξωμάτων είναι ένα από τα πιο πυκνά διασταυρούμενα συστήματα τα οποία αντιστέκονται ή περιορίζουν αυτή τη διάδοση.

Όμως, σε αυτή την περίπτωση, το επιθετικό ιόν χλωριδίου θα μπορούσε να διαπεράσει το σύστημα επίστρωσης, εξαιτίας μηχανικής βλάβης της βαφής, όπως είναι οι γρατσουνιές.

Το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο χάλυβας υποστρώματος προστατεύεται ακόμα από το σύστημα επίστρωσης, έως το τέλος της περιόδου έκθεσης, και ότι οι φουσκάλες που παρατηρήθηκαν, είχαν προκληθεί από τα μόρια αποσταγμένου νερού που είχαν διαρρεύσει και όχι από προϊόντα διάβρωσης. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει σχηματισμός φουσκάλων στον Κυκλικό Έλεγχο. Αυτό οφείλεται στη μικρή διάρκεια έκθεσης στο περιβάλλον του άλατος (ομίχλης).

Όλα τα δείγματα υποβλήθηκαν σε παρατήρηση με γυμνό μάτι με σημείο αναφοράς το στάνταρ δείγμα για να καθοριστούν τα ποσοστά της σκουριασμένης περιοχής αλλά και το ποσοστό σκουριάς. Η κλίμακα σκουριάς είναι από 0 έως 10. Οπότε, 10 για καθόλου σκουριά ή λιγότερο από 0,01% σκουριασμένης επιφάνειας, και 0 για σχεδόν 100% σκουριασμένης επιφάνειας. Ένα τυπικό πλέγμα χρησιμοποιείται σαν βοήθημα αξιολόγησης.



Η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει το μη-επιστρωμένο δείγμα του μοντέλου 1 επειδή το δείγμα έχει μια μεταλλική επίστρωση (γαλβανισμένη). Αυτή η στάνταρ μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο για την αξιολόγηση βαμμένων χαλύβδινων επιφανειών. Υπάρχουν άλλα στάνταρ που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της διάβρωσης που αφορά στις μεταλλικές επιστρώσεις.

Από τους πίνακες 6 και 7, φαίνεται καθαρά ότι τα μη-επιστρωμένα δείγματα οξειδώνονται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια και για τα δύο τεστ διάβρωσης. Όμως, αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να διαφοροποιήσει τη σοβαρότητα της οξείδωσης. Για παράδειγμα, και τα δύο μη-επιστρωμένα δείγματα του μοντέλου 1 και 2 βαθμολογούνται σαν 0 επειδή ολόκληρη η επιφάνεια τους παρουσίασε οξείδωση, ακόμα και αν το Μοντέλο 2 οξειδώνεται πιο έντονα από το Μοντέλο 1.

Τα επιστρωμένα δείγματα και των τριών Μοντέλων δεν οξειδώθηκαν. Παρόλα αυτά, το επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 3 παρουσιάζει κάποιες φουσκάλες, αλλά δεν υπάρχουν καθόλου σημάδια σκουριάς ή άλλα προϊόντα διάβρωσης.

Είναι φανερό ότι τα επιστρωμένα δείγματα είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση από τα μη-επιστρωμένα δείγματα και για τα τρία μοντέλα. Το σύστημα επίστρωσης και των τριών μοντέλων είναι ικανό να προστατεύσει το χαλύβδινο υπόστρωμα και στα δύο τεστ επιταχυμένης διάβρωσης.

Το σύστημα επίστρωσης που χρησιμοποιείται σε όλα τα μοντέλα αυτοκινήτου είναι χρώμα με μεταλλική βάση. Γενικά, το χρώμα προστατεύει το υπόστρωμα με το να μονώνει τον χάλυβα από το περιβάλλον (επιστρώσεις φραγμοί), με το να εμποδίζει την διάβρωση στο υπόστρωμα (μίγμα αναστολής/ πρώτη στρώση) και με γαλβανική δράση (χρώματα με μεταλλική βάση).

**Πίνακας 5** Αξιολόγηση και βαθμός οξείδωσης για το αποτέλεσμα ελέγχου ψεκασμού άλατος (ομίχλη)

Model	Samples	Area Percentage, %	Rust grade
Model 1	Uncoated		
	S 2	-	-
	S 3	-	-
	Coated		
	S 2	0	10
	S 3	0	10
Model 2	Uncoated		
	S 2	100	0
	S 3	100	0
	Coated		
	S 2	0	10
	S 3	0	10
Model 3	Uncoated		
	S 2	100	0
	S 3	100	0
	Coated		
	S 2	0	10
	S 3	0	10
	S 4	0	10

Η διαδικασία διάβρωσης του χαλύβδινου υποστρώματος μπορεί να εμποδιστεί ή και να καθυστερήσει με το να καταστείλουμε την καθοδική ή ανοδική αντίδραση ή με το να εισάγουμε υψηλή αντίδραση στην πορεία του ρεύματος διάβρωσης που κυλά στον πυρήνα του ηλεκτρολύτη.

Η καθοδική αντίδραση μπορεί να ανασταλεί με το να εμποδίσουμε το πέρασμα του οξυγόνου και της υγρασίας στο χαλύβδινο υπόστρωμα. Παρόλα αυτά, όλα τα είδη χρώματος, συμπεριλαμβανομένου και του χρώματος μεταλλικής βάσης είναι διαπερατά από το οξυγόνο και το νερό σε κάποιον βαθμό.

Η μεμβράνη χρώματος είναι διαπερατή σε αναστολή της καθοδικής αντίδρασης. Η ανοδική αντίδραση μπορεί να ανασταλεί με το να παρέχουμε ηλεκτρόδια από μια εξωτερική πηγή και έτσι με το να κάνουμε τη δυναμική του σιδήρου επαρκώς αρνητική ώστε να εμποδίσει τη διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση χρώματος μεταλλικής βάσης.

**Πίνακας 6** Αποτελέσματα αξιολόγησης για την αντίσταση στη διάβρωση επιστρωμένων ατσάλινων δειγμάτων (κυκλική μέθοδος).

Model	Samples	Area Percentage, %	Rust grade
model 1	Uncoated		
	S 4	-	-
	S 5	-	-
	Coated		
	S 5	0	10
	S 6	0	10
	S 7	0	10
model 2	Uncoated		
	S 4	100	0
	S 5	100	0
	Coated		
	S 5	0	10
	S 6	0	10
	S 7	0	10
model 3	Uncoated		
	S 4	100	0
	S 5	100	0
	Coated		
	S 5	0	10
	S 6	0	10
	S 7	0	10

Κοινή μέθοδος για την καταστολή της διάβρωσης μέσω βαφής είναι να εμποδιστεί η κίνηση των ιόντων μέσα σε αυτή ή η ηλεκτρική αντίσταση. Το μόριο του νερού είναι μικρό και ικανό να εισχωρήσει στις περισσότερες οργανικές επιστρώσεις.

Η υγρασία μπορεί να απορροφηθεί στα ενδομοριακά κενά ή να περάσει μέσα από τις επιστρώσεις. Παρόλα αυτά, αυτό δύσκολα συμβαίνει στην περίπτωση της βαφής με μεταλλική βάση. Έτσι, η χρήση βαφής με μεταλλική βάση προστατεύει καλά το χαλύβδινο υπόστρωμα.

Επειδή το περιβάλλον αλλάζει σε πιο διαβρωτικό (επιταχυμένα τεστ διάβρωσης), η παρουσία ιόντων χλωρίου μπορεί να είναι ικανή να διαπεράσει το χρώμα και να μειώσει την ηλεκτρική αντίσταση.

Έτσι, η διάδοση οξυγόνου και υγρασίας μέσα στη μεμβράνη του χρώματος θα είναι ευκολότερη και είναι πιθανό να υπάρξει ένας βαθμός ανταλλαγής ιόντων η οποία θα οδηγήσει σε διάβρωση και φθορά την επίστρωσης.

Όμως, αυτό δεν συμβαίνει. Έτσι, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η πυκνότητα των διασταυρούμενων συνδέσεων την βαφής μεταλλικής βάσης, η οποία χρησιμοποιείται και για τα τρία μοντέλα είναι υψηλή. Αυτό το συμπέρασμα βασίζεται σε περίοδο έκθεσης 14 ημερών, σε περιβάλλον ομίχλης άλατος και σε κυκλικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, μετά το πέρας μιας χρονικής περιόδου, η είσοδος ιόντων χλωριδίου θα μειώσει την αντίσταση της μεμβράνης χρώματος και αυτό θα οδηγήσει σε διάβρωση και φθορά της επίστρωσης.

Και τα τρία μοντέλα των μη-επιστρωμένων χαλύβδινων πλακών διαβρώθηκαν και στα δύο τεστ επιταχυμένης διάβρωσης. Παρόλα αυτά, μόνο η χαλύβδινη πλάκα του Μοντέλου 2 και 3 οξειδώθηκε. Αυτό συνέβη γιατί το Μοντέλο 2 και το Μοντέλο 3 δεν είναι γαλβανισμένα όπως το Μοντέλο 1.

Τα Μοντέλα 2 και 3 διαβρώνονται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια με ένα σκούρο καφετί  $Fe_2O_3$  προϊόν διάβρωσης. Το Μοντέλο 1 επίσης διαβρώνεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια αλλά με λευκό-κίτρινου χρώματος προϊόν διάβρωσης. Το προϊόν διάβρωσης λευκού χρώματος οφείλεται στην διάβρωση του καθαρού ψευδαργύρου στο πάνω μέρος της επίστρωσης, το οποίο είναι  $ZnO$ . Το προϊόν διάβρωσης κιτρινωπού χρώματος, που μοιάζει με σκουριά, οφείλεται στη διάβρωση του κράματος  $Zn-Fe$  στο ενδιάμεσο των επιστρώσεων.

Η πυκνότητα του στρώματος επίστρωσης ψευδαργύρου του Μοντέλου 1 είναι περίπου 6,37mm, με καθαρό ψευδάργυρο στην επιφάνεια της επίστρωσης και στρώμα κράματος  $Zn-Fe$  κάτω από αυτό. Αυτό το στρώμα κράματος  $Zn-Fe$  προκαλεί το κιτρινωπό/καφετί σαν σκουριά προϊόν διάβρωσης. Επειδή ο ψευδάργυρος είναι ανθεκτικός στη διάβρωση, το μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 1 διαβρώνεται σε ελάχιστο βαθμό σε σχέση με τα άλλα δύο Μοντέλα, τα οποία δεν έχουν καμιά άλλη θυσιαστήρια επίστρωση.

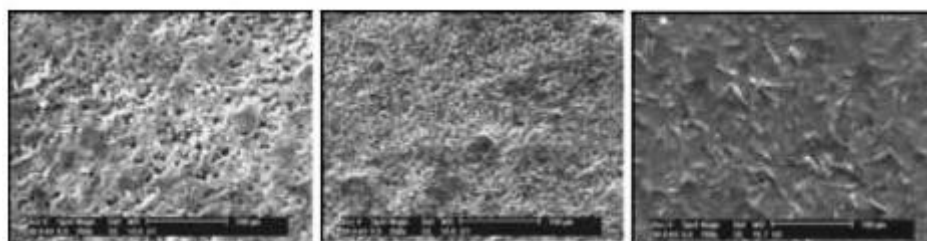
Τα μη-επιστρωμένα δείγματα των Μοντέλων 2 και 3 διαβρώνονται και οξειδώνονται σχεδόν όμοια, με σκούρο καφέ  $Fe_2O_3$ , σε σχήμα φλούδας προϊόν διάβρωσης. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια διαφορά στα ποσοστά διάβρωσης που βασίζονται στην απώλεια μάζας. Από την ανάλυση φαίνεται ότι το μη-επιστρωμένο δείγμα του Μοντέλου 3 οξειδώνεται λίγο γρηγορότερα από αυτό του Μοντέλου 2. Αυτό ίσως οφείλεται στο περιεχόμενο άνθρακα και άλλων ακαθαρσιών στο χαλύβδινο υπόστρωμα.

Τα επιστρωμένα δείγματα όλων των Μοντέλων δεν διαβρώθηκαν ούτε στο ASTM B 117 ούτε στο ASTM D 2933 τεστ επιταχυμένης διάβρωσης. Όμως, τα επιστρωμένα δείγματα του Μοντέλου 3 παρουσίασαν φουσκάλες μετά τον έλεγχο ψεκασμού άλατος (ομίχλη). Το φουσκάλιασμα, το οποίο παρατηρείται στην πλάκα του Μοντέλου 3 είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια βλάβη στην επίστρωση, κατά την οποία μεγάλες ή μικρές στρογγυλές προεξοχές εμφανίζονται στην επιφάνεια της επίστρωσης.

Το φουσκάλιασμα παρουσιάζει δύο είδη: το ένα προκαλείται μέσα στην επίστρωση την ίδια και το άλλο προκαλείται από διάβρωση στο υπόστρωμα. Οι φουσκάλες ανάμεσα στις επιστρώσεις προκαλούνται γενικά ή από τους διαλύτες, οι οποίοι έχουν αιχμαλωτιστεί ανάμεσα ή και κάτω από την μεμβράνη χρώματος ή από νερό το οποίο τραβήχτηκε μέσα στη μεμβράνη χρώματος από τις οσμωτικές δυνάμεις που ασκούν τα υγροσκοπικά άλατα στην επιφάνεια του υποστρώματος χρώματος. Το αέριο τότε ή το υγρό ασκεί μια πίεση, και αν αυτή γίνει μεγαλύτερη από την συνδετική δύναμη της μεμβράνης χρώματος, οι φουσκάλες σπάνε .

*Τα συμπεράσματα λοιπόν από το παραπάνω πείραμα είναι τα εξής:*

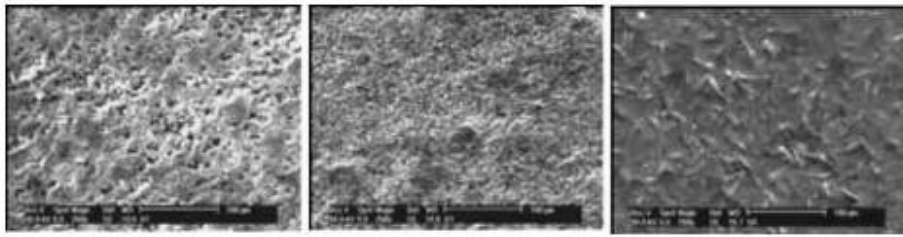
1. Η επίστρωση χρώματος είναι ιδανική για διακοσμητικούς λόγους, αλλά και για την προστασία από τη διάβρωση των αμαξωμάτων από χάλυβα πολύ χαμηλού άνθρακα. Τα συστήματα επίστρωσης και των τριών μοντέλων προστατεύουν καλά το χαλύβδινο υπόστρωμα από το διαβρωτικό περιβάλλον.
2. Η Zn-Fe θυσιαζόμενη μεταλλική επίστρωση είναι ικανή να προστατεύσει το χαλύβδινο υπόστρωμα πιο επαρκώς σε κορεσμένο περιβάλλον σε σύγκριση με το περιβάλλον άλατος. Αυτό το κράμα παράγει δύο είδη προϊόντων διάβρωσης. Αρχικά, ένα λευκού χρώματος προϊόν διάβρωσης το οποίο είναι ZnO (διάβρωση καθαρού ψευδαργύρου στην επιφάνεια της επίστρωσης). Δευτερευόντως, ένα κιτρινωπό σαν σκουριά προϊόν, το οποίο δείχνει την διάβρωση του κράματος Zn-Fe.
3. Μικρογρατσουνιές στο σύστημα επίστρωσης χρώματος επιτρέπουν την εξάπλωση της υγρασίας μέσα σε αυτή και δημιουργούν φουσκάλες. Οι φουσκάλες θα μεγαλώσουν, αν η υγρασία συνεχίσει να αυξάνει κάτω από την επίστρωση χρώματος.



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
(α) Πριν από τα επιταχυμένα τεστ διάβρωσης



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
(β) Μετά το τεστ ASTM B 117 ψεκασμού άλατος

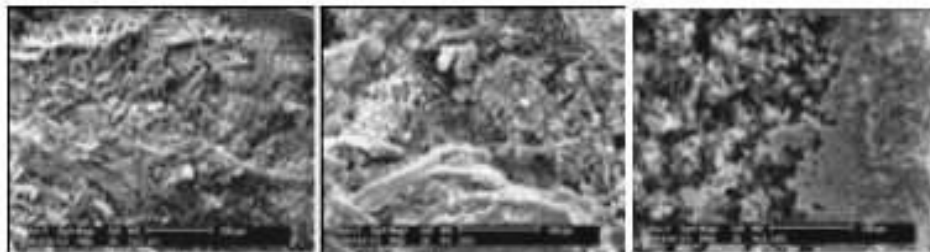


Μοντέλο 1      Μοντέλο 2      Μοντέλο 3  
 (γ) Μετά τον έλεγχο ASTM D 2933 αντίστασης στη διάβρωση  
 επιστρωμένων ασάλινων δειγμάτων (Κυκλικός έλεγχος)

**Φωτ. 3.16** Σύγκριση ανάμεσα στα μη-επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων  
 (επιφανειακή τοπογραφία)



Μοντέλο 1      Μοντέλο 2      Μοντέλο 3  
 (α) Πριν τα τεστ επιταχυμένης διάβρωσης

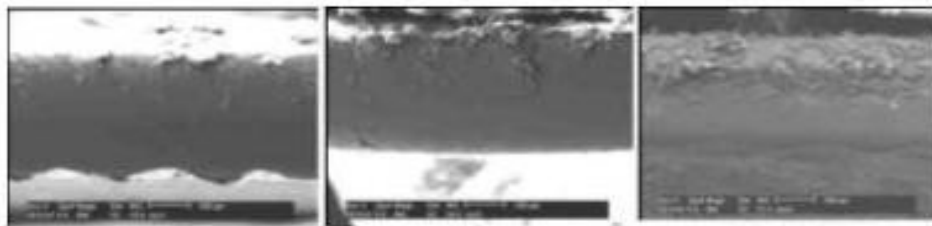


Μοντέλο 1      Μοντέλο 2      Μοντέλο 3  
 (β) Μετά το τεστ ASTM B 117 ψεκασμού άλατος



Μοντέλο 1      Μοντέλο 2      Μοντέλο 3  
 (γ) Μετά τον έλεγχο ASTM D 2933 αντίστασης στη διάβρωση  
 επιστρωμένων ασάλινων δειγμάτων (Κυκλικός έλεγχος)

**Φωτ. 3.17** Σύγκριση ανάμεσα στα επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων  
 (διασταυρούμενα τμήματα)



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
(α) Πριν τα τεστ επιταχυμένης διάβρωσης

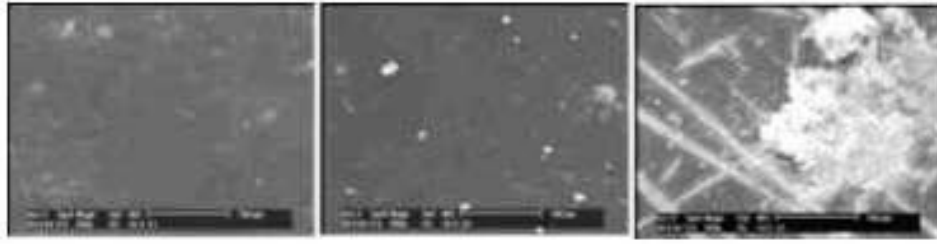


Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
(β) Μετά το τεστ ASTM B 117 ψεκασμού άλατος



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
(γ) Μετά τον έλεγχο ASTM D 2933 αντίστασης στη διάβρωση  
επιστρωμένων ατσάλινων δειγμάτων (Κυκλικός έλεγχος)

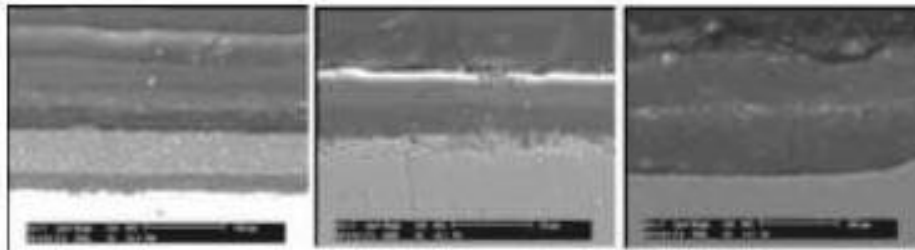
**Φωτ. 3.18** Σύγκριση ανάμεσα στα επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων (επιφανειακή τοπογραφία)



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
 (α) Πριν τα τεστ επιταχυμένης διάβρωσης

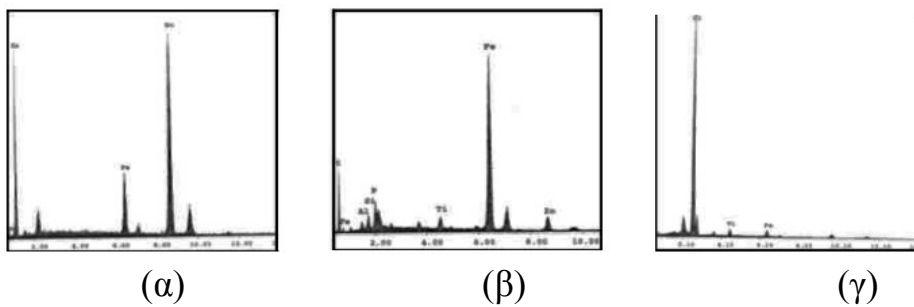


Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
 (β) Μετά το τεστ ASTM B 117 ψεκασμού άλατος



Μοντέλο 1                      Μοντέλο 2                      Μοντέλο 3  
 (γ) Μετά τον έλεγχο ASTM D 2933 αντίστασης στη διάβρωση επιστρωμένων ατσάλινων δειγμάτων (Κυκλικός έλεγχος)

**Φωτ. 3.19** Σύγκριση ανάμεσα στα επιστρωμένα δείγματα όλων των μοντέλων (διασταυρούμενα τμήματα)



**Φωτ. 3.20** Αποτέλεσμα του EDX στο ενδιάμεσο του συστήματος επίστρωσης μετά το τεστ διάβρωσης

### 3.5 Η μελλοντική επανάσταση των χαλύβων υψηλής αντοχής που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία

Με τις σύγχρονες βιομηχανικές απαιτήσεις αλλά και την εξέλιξη των μεθόδων παραγωγής και επεξεργασίας των μετάλλων οι χάλυβες υπέστησαν πολλές βελτιώσεις και έτσι έχουμε την ανάπτυξη και εφαρμογή των χαλύβων υψηλής αντοχής.

Οι **παραδοσιακοί χάλυβες** που χρησιμοποιούνταν στην αυτοκινητοβιομηχανία ήταν χαμηλού άνθρακα (LC), σκληρυμένοι μέσω ψησίματος (BH), ενισχυμένοι με στερεό διάλυμα (SSS) και υψηλής αντοχής χαμηλά κραματωμένοι χάλυβες (HSLA).

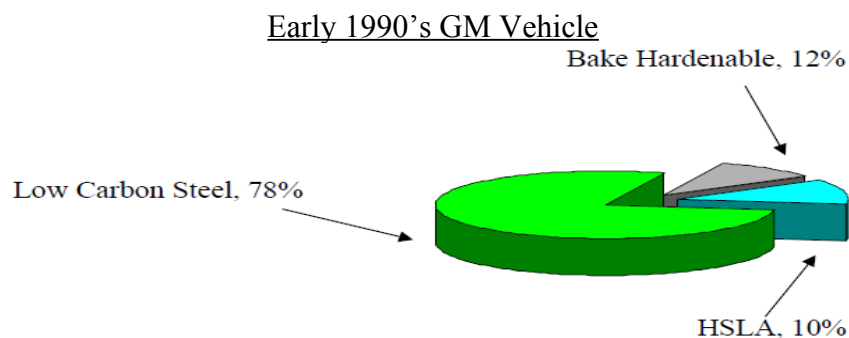
Οι **προηγμένοι χάλυβες** υψηλής ισχύος είναι διπλής φάσης (DP), πολύπλοκης φάσης (CP), μετατρεπόμενης επαγωγικής ελαστικότητας (TRIP) και οι μαρτενσιτικοί χάλυβες.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής έχουν πολύ καλές ιδιότητες όπως υψηλή ικανότητα διαμόρφωσης, υψηλότερη απορρόφηση ενέργειας, υψηλή ή χαμηλή απόδοση σε ποσοστά ελαστικότητας, απαιτούν ειδικούς κύκλους ψύξης ενώ τα ισοδύναμα άνθρακα μπορούν να είναι υψηλά.

Οι AHSS's είναι **πολυφασικοί χάλυβες υψηλής αντοχής** οι οποίοι έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, συνδυάζουν υψηλή ισχύ και υψηλή ικανότητα διαμόρφωσης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα επιμήκυνσης (%) – επιμήκυνσης (MPa).

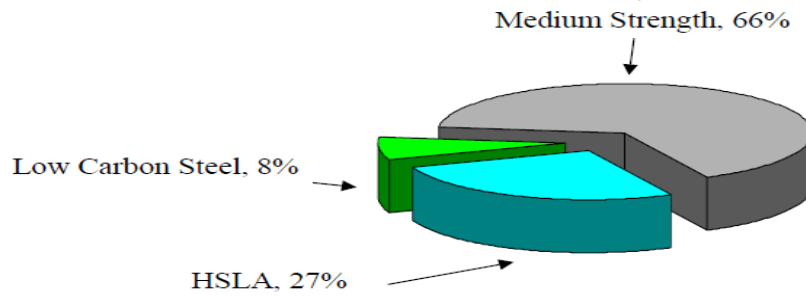
Η χρήση των παραπάνω χαλύβων έγινε από την **General Motors**.

Η αποφυγή μάζας, η βελτιωμένη αντίσταση στις συγκρούσεις σε όλα τα μέρη του οχήματος (εμπρόσθια σύγκρουση, πλάγια κλπ), οι κανονισμοί και οι απαιτήσεις, ήταν οι λόγοι που ανάγκασαν τις αυτοκινητοβιομηχανίες να προβούν στη χρήση των χαλύβων υψηλής αντοχής.

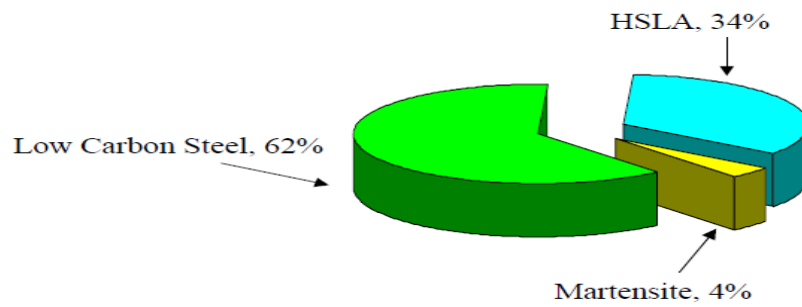




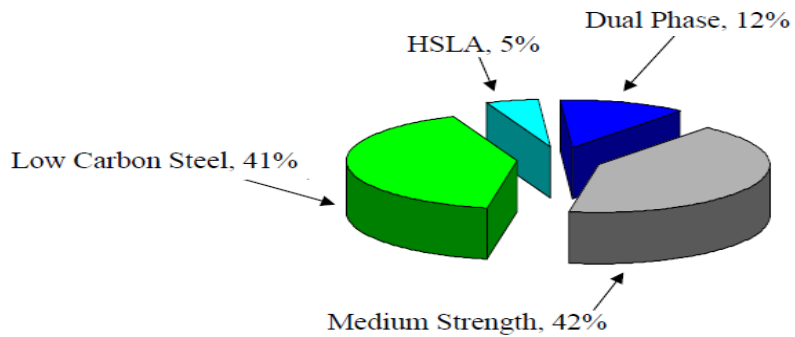
### Small Car/Small SUV Body Structure



### Midsize Luxury Vehicle Body Structure

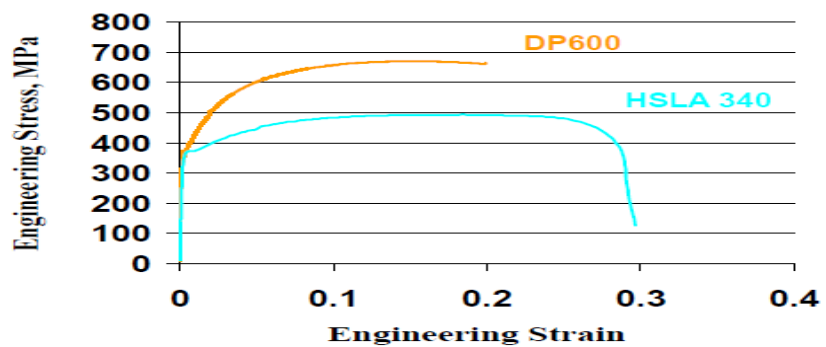


### Epsilon – Chevy Malibu Body Structure

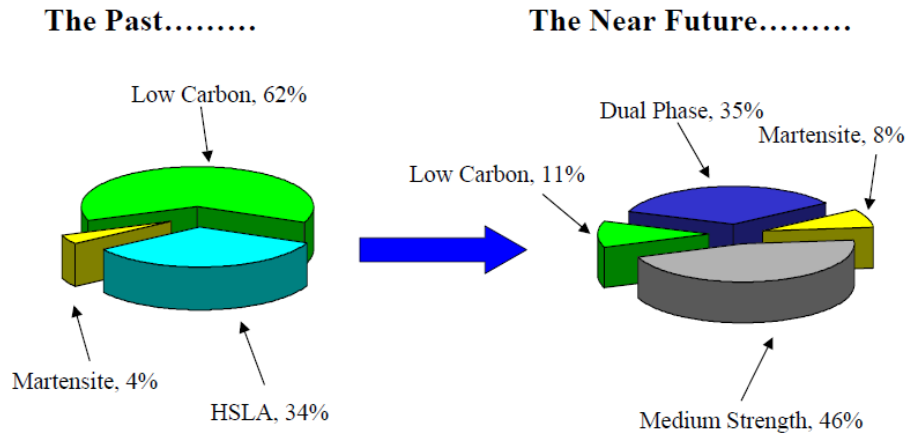


### The Benefits

- Energy Absorption

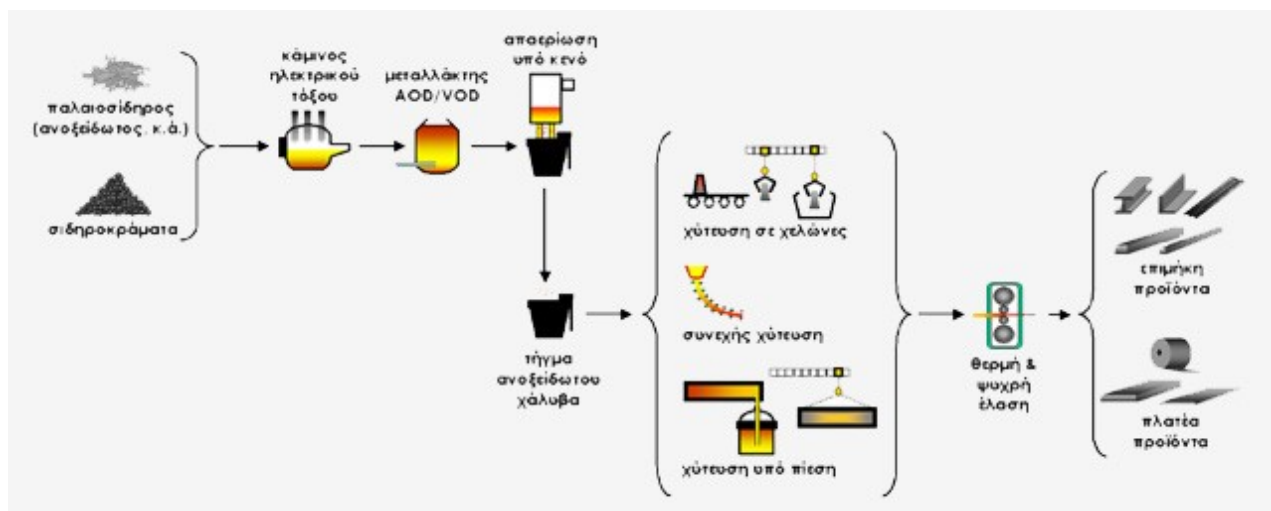


Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε την ενεργειακή απορρόφηση των δύο χαλύβων που χρησιμοποιεί η GM για την κατασκευή αμαξωμάτων. Τον διπλής φάσης (DP600) χάλυβα και τον υψηλής αντοχής ελαφρού κράματος (HSLA340) χάλυβα.



Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε τη χρήση χαλύβων από τη GM για τη κατασκευή των αμαξωμάτων στα πρώτα οχήματα (αριστερή πίτα) και στα σύγχρονα (δεξιά πίτα).

### 3.6 Ανάπτυξη νέων χαλύβων ανθεκτικών στη Διάβρωση



**Φωτ. 3.21** Παραγωγή ανοξειδωτων προϊόντων

Τρία νέα είδη χάλυβα ανθεκτικού στην διάβρωση για αμαξώματα αυτοκινήτων έχουν αναπτυχθεί.

1. Φύλλα χάλυβα καλυμμένα με στρώμα κράματος ψευδαργύρου-νικελίου.
2. Φύλλα χάλυβα διπλής στρώσης καλυμμένα με κράμα ψευδαργύρου-σιδήρου και
3. Φύλλα χάλυβα καλυμμένα με στρώμα οργανικής σύνθεσης.

Με το συντετηγμένο προστατευτικό περίβλημα, επικαλυμμένο σε δύο στρώματα ή σύνθετο, αυτά τα ανθεκτικά στη διάβρωση φύλλα χάλυβα, έχουν τέλεια αντίσταση στη διάβρωση και ικανότητα βαφής για σχετικά χαμηλό βάρος επίστρωσης. Η διαμορφωτική και συγκολλητική ικανότητα, καθώς και άλλες ιδιότητές τους, είναι πολύ ικανοποιητικές.

Σήμερα, διάφορα είδη φύλλων χάλυβα, καλυμμένων με ψευδάργυρο, χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες για να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα των αμαξωμάτων. Αφού ο ψευδάργυρος παραδοσιακά προστατεύει το χάλυβα από τη διάβρωση, γαλβανισμένα φύλλα χάλυβα μονής ή διπλής επίστρωσης, με σχετικά μεγάλο βάρος επίστρωσης, γαλβανισμένα, ηλεκτρογαλβανισμένα και οργανικής επίστρωσης φύλλα χάλυβα με σκόνη ψευδαργύρου, χρησιμοποιούνται εμπορικά στα αμαξώματα των αυτοκινήτων.

Αυτά τα ανθεκτικά στη διάβρωση φύλλα χάλυβα δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις εφαρμογές των υψηλής αντοχής χαλύβων που απαιτούνται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Εξαιτίας της ηλεκτροχημικής δραστηριότητας του ψευδαργύρου, τα ηλεκτρογαλβανισμένα φύλλα χάλυβα και τα γαλβανισμένα θερμής βύθισης είναι φτωχά στην υγρή εφαρμογή χρώματος και είναι πιθανόν να προκαλέσουν φουσκάλες στην επίστρωση αυτού. Τα φύλλα χάλυβα με οργανική κάλυψη και τα γαλβανισμένα με μεγάλο βάρος επίστρωσης έχουν την τάση να ξεφλουδίζουν πάνω στη επιφάνεια επίστρωσης και να παράγουν βαθουλώματα στις επιφάνειες κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης υπό πίεση.


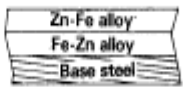
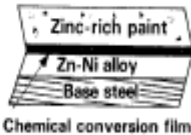
Τα οργανικής επίστρωσης και τα θερμής βύθισης γαλβανισμένα δεν διαθέτουν επιτόπια ικανότητα συγκόλλησης και είναι δύσκολο να συγκολληθούν. Τα γαλβανισμένα επίσης, είναι κατώτερα από τα ψυχρής επίστρωσης φύλλα χάλυβα στην εμφάνιση της βαμμένης επιφάνειας και είναι στενά στην κλίμακα εφαρμογής των υψηλής ισχύος και των βαθιάς χάραξης φύλλων χάλυβα.

Αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν με τη χρήση των ηλεκτρολυτικά καλυμμένων φύλλων χάλυβα με κράμα ψευδαργύρου, με ελαφρύτερη επίστρωση ψευδαργύρου ή οργανική επίστρωση, και η ανάπτυξη αυτή προκλήθηκε από τα ηλεκτρολυμένα φύλλα χάλυβα κράματος ψευδαργύρου με υψηλή αντίσταση στη διάβρωση για χαμηλό βάρος επίστρωσης.

Τρία νέα είδη φύλλων χάλυβα ανθεκτικών στη διάβρωση για τα οχήματα έχουν αναπτυχθεί, όπως περιγράφεται κάτω.

1. Το Zn-Ni κράμα ηλεκτρολυμένου χάλυβα (**Zinklite**- αναφέρεται σαν ZL).
2. Το διπλής στρώσης, Zn-Fe κράμα ηλεκτρολυμένου χάλυβα (**Excelite**-αναφέρεται σαν EL).
3. Το οργανικής σύνθεσης επιστρωμένου χάλυβα (**Welcote-M** αναφέρεται σαν W2).

Αυτά τα νέα είδη χάλυβα φαίνονται στην φωτ. 3.22

	Zn-Ni alloy electro-plated (Zinklite.....ZL)	2-layer Zn-Fe alloy electroplated (Excelite.....EL)	Organic composite coated (WELCOTE-M...W2)
<b>Structure of coating Films</b>			
<b>One-Side</b>	O K	O K	O K
<b>Both-Side</b>	O K	O K	—
<b>Characteristics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Corrosion resistance of non-treated and painted portion are improved in a well balanced manner.</li> <li>● Corrosion resistance is more than 3 times that of electro galvanized steel sheet for the same coating weight.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Superior paintability equal to that of galvanized is assured by the electro-plating process.</li> <li>● Formability has been also improved and is equal to that of cold rolled sheet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coatings consist of 3-layers.</li> <li>● The coating film has also been improved.</li> <li>● Corrosion resistance without painting is better than that of ZM.</li> <li>● W2 has superior formability and weldability.</li> </ul>

Φωτ. 3.22

## 1) Zn-Ni κράματα ηλεκτρολυμένων φύλλων χάλυβα (ZL)

Για να εξασφαλίσουμε ικανότητα διαμόρφωσης και συγκολλητική ικανότητα, σημαντικές ιδιότητες για κατασκευή αμαξωμάτων, είναι επιθυμητό να παραχθούν ανθεκτικά στη διάβρωση φύλλα χάλυβα, μέσω της διαδικασίας ηλεκτρόλυσης η οποία δεν αλλάζει τις μηχανολογικές ιδιότητες του χάλυβα βάσης.

Για να βελτιώσουμε την αντι-διαβρωτική επίδοση των παραδοσιακών ηλεκτρογαλβανισμένων φύλλων χάλυβα, είναι απαραίτητο να αυξήσουμε το πάχος της επίστρωσης ψευδαργύρου, η οποία με τη σειρά της μειώνει την ικανότητα διαμόρφωσης και την ικανότητα διαμόρφωσης υπό πίεση. Για να εναποτεθεί η μεταλλική επίστρωση μέσω της διαδικασίας ηλεκτρόλυσης, συνεπώς, πρέπει να ανταποκρίνεται στις ακόλουθες απαιτήσεις.

- Να αυξηθεί η αντίσταση διάβρωσης του στρώματος επίστρωσης πάνω από αυτό της επίστρωσης ψευδαργύρου.
- Να μειωθεί το πάχος της επίστρωσης και να βελτιωθεί η ικανότητα διαμόρφωσης και η ικανότητα συγκόλλησης.

Το σκεπτικό σχεδίασης για να βελτιωθεί η αντίσταση στη διάβρωση των μετάλλων που έχουν εναποτεθεί μέσω ηλεκτρόλυσης, είναι βασισμένο στην προστατευτική δράση των προϊόντων διάβρωσης ψευδαργύρου.

Από τις μελέτες για τη σταθερότητα του συνθετικού  $Zn(OH)_2$ , με διάφορα στοιχεία κραμάτων, βρέθηκε ότι διάφορα στοιχεία κραμάτων όπως τα Al, Mg, Ni, Co και Mn, καθυστερούσαν την αλλαγή του  $Zn(OH)_2$  σε ZnO.

Βασιζόμενοι σε αυτό το σκεπτικό, το νικέλιο και το κοβάλτιο επιλέχθηκαν σαν στοιχεία κράματος που μπορούν να ηλεκτρολυθούν.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις της πιθανότητας διάβρωσης και των γαλβανικών κυμάτων για να κρυσώσουν τα διπλωμένα φύλλα σε αλατισμένο νερό, ένα τέτοιο κράμα γ φάσης έχει μικρότερες δυνατές διαφορές με το χάλυβα από ότι έχει ο ψευδάργυρος και μειώνει την επιπλέον προστατευτική δράση που εμποδίζει τις φουσκάλες και την απόσχιση τους χρώματος σε ελαττωματικά τμήματα, και σε ενωμένα τμήματα με κρύα επεξεργασία φύλλα χάλυβα.

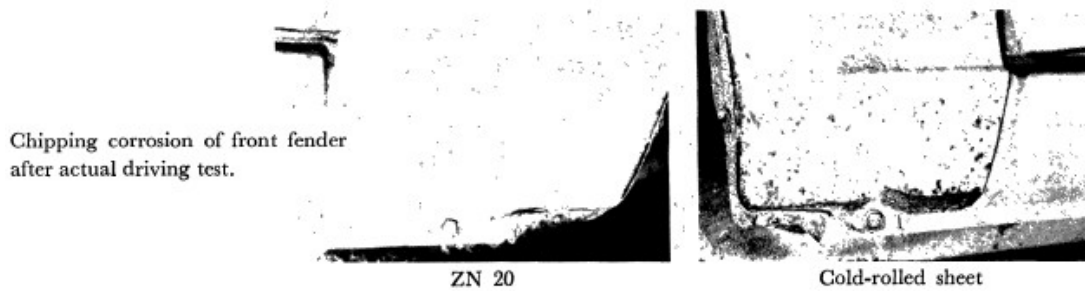
Το ZL επιδεικνύει καλή ικανότητα βαφής αντίστοιχη με αυτή του χάλυβα κρύα επεξεργασίας και αποτελεσματικά εμποδίζει την εμφάνιση φουσκάλων στο χρώμα. Για αυτό το λόγο, το ZL χρησιμοποιείται σαν διπλής επίστρωσης χάλυβας, όχι μόνο για τα εσωτερικά αλλά και για τα εξωτερικά τμήματα των αυτοκινήτων.

Η Φωτ. 3.23 δείχνει τα αποτελέσματα των τεστ κυκλικής διάβρωσης που πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές πόρτες με ZL φύλλα που συναρμολογήθηκαν πάνω στο εξωτερικό της πόρτας και βιάστηκαν με το χρώμα του αυτοκινήτου. Το ZL ήταν ίδιο, όσον αφορά στη διατηρητική αντίσταση, με τον γαλβανισμένο χάλυβα μεγάλου βάρους επίστρωσης.

Η άριστη αντίσταση στη διάβρωση του ZL επιβεβαιώθηκε επίσης από το τεστ ταχύτητας πραγματικών αυτοκινήτων σε δρόμους καλυμμένους με αλάτι. Η Φωτ. δείχνει την κοσμητική αντίσταση στους κάτω μπροστινούς προφυλακτήρες μετά το τεστ στο δρόμο που αντιστοιχεί σε πέντε έτη. Το ξεφλούδισμα από διάβρωση εμποδίστηκε επαρκώς.

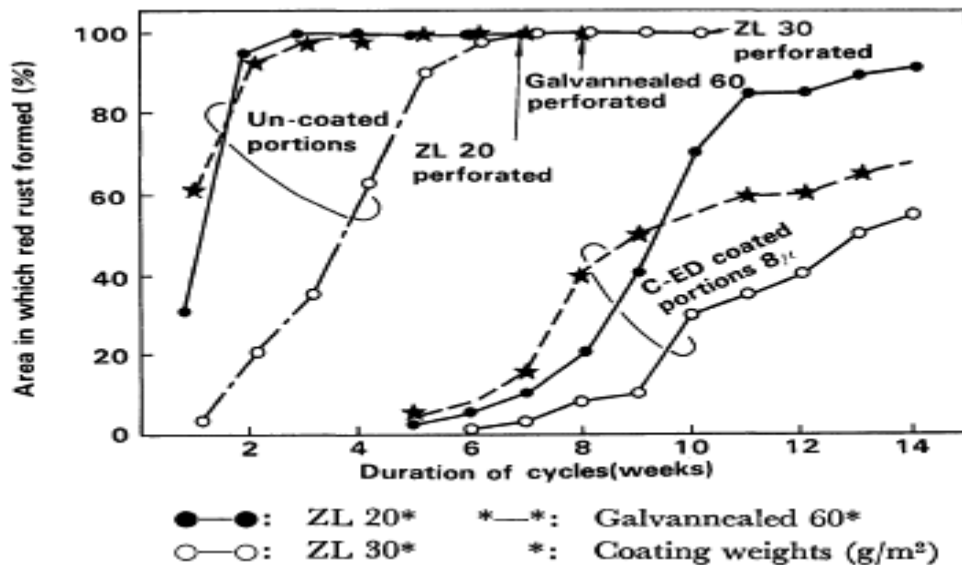
Αφού μπορεί να διατηρεί τις μηχανολογικές ιδιότητες του χάλυβα βάσης, το ZL μπορεί να ανταποκριθεί σε μια μεγάλη κλίμακα απαιτήσεων από τα βαθιά χάραξης φύλλα χάλυβα, στα υψηλής ισχύος και στα διπλής φάσης και υψηλής σκλήρυνσης φουρνισμένα φύλλα χάλυβα.

Κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης μέσω πίεσης των τμημάτων του αμαξώματος, το ZL παρουσιάζει λιγότερο ξεφλούδισμα και τρίψιμο από τα παραδοσιακά γαλβανισμένα με θερμική βύθιση, τα ηλεκτρικά γαλβανισμένα και τα χαλύβδινα φύλλα ψευδαργύρου με πλούσιο στρώμα χρώματος, και είναι ευκολότερο στη συνεχή πίεση.



Chipping corrosion of front fender after actual driving test.

Εικόνα 3.6.3



Φωτ. 3.23

Αφού η επίστρωση των Zn-Ni-Co είναι σκληρότερη από αυτή του ψευδαργύρου, η συγκέντρωση της επίστρωσης από χρώμα μικραίνει και αφού η επίστρωση είναι υψηλότερη σε επίπεδο ρευστοποίησης από του ψευδαργύρου, η συσσώρευση επιστρωμένων μετάλλων πάνω στο χρώμα εμποδίζεται.

Επιβεβαιώθηκε από συνεχή διαμόρφωση πίεσης πάνω σε πραγματικό δοκό πίεσης ότι το ZL μειώνει ραγδαία την παρουσία βαθουλωμάτων και άλλων διαμορφωτικών ελαττωμάτων σε σύγκριση με τα ηλεκτρογαλβανισμένα φύλλα χάλυβα.

Αφού το ZL μπορεί με αυτό τον τρόπο να μειώνει το χρόνο και την εργασία για την συντήρηση των διαμορφωτικών χρωμάτων πίεσης και την επισκευή των ελαττωμάτων στα διαμορφωμένα μέρη, εκτιμάται σαν ανθεκτικό στην αντίσταση φύλλο χάλυβα για αμαξώματα κατάλληλα για την εισαγωγή των αυτοματικών πιέσεων και την εξοικονόμησης εργασίας στην διαμόρφωση υπό πίεση.

Σε συνεχή επιτόπια συγκόλληση, το ZL προκαλεί μικρότερο φορτίο ηλεκτροδίου και συνεπώς, παρέχει καλύτερη τελική εμφάνιση και επιτρέπει περισσότερα σημεία συγκόλλησης να γίνονται συνέχεια, από τα ηλεκτρογαλβανισμένα και τα γαλβανισμένα φύλλα χάλυβα.

Αφού το σημείο ρευστοποίησης της επίστρωσης είναι υψηλότερο από αυτό των ηλεκτρογαλβανισμένων χαλύβδινων φύλλων, το κύμα συγκόλλησης περνά πάνω από ένα συντομότερο μονοπάτι και συγκεντρώνεται σε μικρότερη περιοχή. Και επειδή η ηλεκτρική αντίσταση της επίστρωσης είναι χαμηλότερη από αυτή των γαλβανισμένων φύλλων χάλυβα, μικρότερη ποσότητα θερμότητας παράγεται στην διάμεση επιφάνεια ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και στο φύλλο.

Συνεπώς, το φορτίο του ηλεκτροδίου εξαιτίας του κράματος του υλικού του ηλεκτροδίου με το μέταλλο επίστρωσης στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου θεωρείται πιο ελαφρύ.

Η διαφορά στην ηλεκτρική αντίσταση της επίστρωσης μπορεί να εξηγηθεί ως η διαφορά στα ποσά των επιφανειακών οξειδίων.


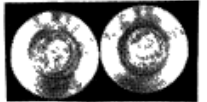
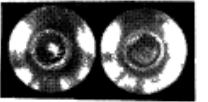

Η εμφάνιση των ηλεκτροδίων μετά από συνεχείς σειρές επιτόπιας συγκόλλησης φαίνεται στη Φωτ. 3.24. Το ZL προκαλεί το δεύτερο ελάχιστο φορτίο ηλεκτροδίου μετά από τα φύλλα ψυχρής επεξεργασίας και μπορεί να ελαττώσει τις συχνότητες αντικατάστασης και επένδυσης της άκρης του ηλεκτροδίου.

Λόγω αυτής της καλής ικανότητας συγκόλλησης, το ZL εκτιμάται ως ένα ανθεκτικό στη διάβρωση φύλλο χάλυβα προσαρμοσμένο για την εισαγωγή συγκολλητικών ρομπότ και την παραγωγή ανταλλακτικών που συμπεριλαμβάνουν την συγκόλληση των τριών φύλλων.

Η ηλεκτρική εναπόθεση του κράματος Zn-Ni από ένα απλό σχετικά λουτρό, όπως είναι το θειούχο λουτρό, έχει σαν αποτέλεσμα μια μη ομοιόμορφη συν-απόθεση. Για να ελεγχθεί η σύνθεση της επίστρωσης κράματος, είναι απαραίτητο να διαλευκάνουμε τη σχέση ανάμεσα στις συνθήκες επικάλυψης με ηλεκτρόλυση και τη σύνθεση της επίστρωσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης μιας συνεχούς διαδικασίας ηλεκτρόλυσης, η εισαγωγή του ελέγχου μέσω υπολογιστή αποδείχθηκε αποτελεσματική, επειδή πολλοί λειτουργικοί παράγοντες επηρεάζουν την σύνθεση της επίστρωσης.

Συνεπώς, τα προγράμματα και ο εξοπλισμός που απαιτούνται για τον έλεγχο του υπολογιστή αναπτύχθηκαν και το σύστημα που σχηματικά φαίνεται στην εικόνα 4 ολοκληρώθηκε. Ο έλεγχος της λειτουργίας από το σύστημα μπορεί να μειώσει τις διακυμάνσεις στο βάρος της επίστρωσης και τη συγκέντρωση του νικελίου στην επίστρωση σε επαρκώς χαμηλά επίπεδα.

Test piece	ZL 20 (2250th spot)	Electrogalvanized 20 (2000th spot)	Galvannealed 45 (2250th spot)	Cold-rolled sheet (3000th spot)
Appearance of electrode				
Changes in electrode diameter	$10.8 \times 10^{-4}$ mm/spot	$13.4 \times 10^{-4}$ mm/spot	$12.3 \times 10^{-4}$ mm/spot	$7.6 \times 10^{-4}$ mm/spot

Φωτ. 3.24

## 2) Διπλής στρώσης φύλλα χάλυβα κράματος Zn-Fe( EL)

Τα τελευταία χρόνια, φύλλα χάλυβα ανθεκτικά στη διάβρωση για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι σε συνεχή ζήτηση για να ανταποκριθούν στην κοσμητική διάβρωση καθώς και στην διάβρωση από διάνοιξη (τρύπημα), και τα διπλής όψης φύλλα χάλυβα με επίστρωση ψευδαργύρου έχουν υιοθετηθεί στα εξωτερικά τμήματα των αμαξωμάτων επίσης. Τώρα που το καθοδικό ηλεκτρονικό σύστημα εναπόθεσης έχει καθιερωθεί, η ικανότητα βαφής των επιφανειών ψευδαργύρου έχει τονιστεί περισσότερο από ποτέ.

Τα γαλβανισμένα φύλλα χάλυβα είχαν άριστη αντίσταση στη διάβρωση κάτω από την επιφάνεια του χρώματος και είναι ένα αποδεδειγμένο υλικό για την αντίσταση κατά την διάνοιξη(τρύπημα). Όταν όμως είναι να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρονική εναπόθεση με πρώτο στρώμα ( primer) για τις εξωτερικές επιφάνειες του αμαξώματος, έχουν τέτοια προβλήματα που είναι πιθανόν να προκαλέσουν ελαττώματα στο χρώμα που μοιάζουν με κρατήρες.

Συνεπώς δεν επιδέχεται εύκολα το σύστημα βαφής με ηλεκτρική εναπόθεση. Το διπλής όψης EL κράμα επίστρωσης Zn-Fe έχει αναπτυχθεί για να συνδυάσει την αντίσταση κατά την διάνοιξη(τρύπημα) των γαλβανισμένων φύλλων χάλυβα με τις μηχανικές και επιφανειακές χημικές ιδιότητες των χαλύβων κρύας επεξεργασίας μέσω της χρήσης ηλεκτρόλυσης.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας, μια λεπτομερής μελέτη έγινε σχετικά με τη σχέση ανάμεσα στη σύνθεση του κράματος επίστρωσης Zn-Fe και των ιδιοτήτων που απαιτούνται από τα ανθεκτικά στη διάβρωση φύλλα χάλυβα για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία.



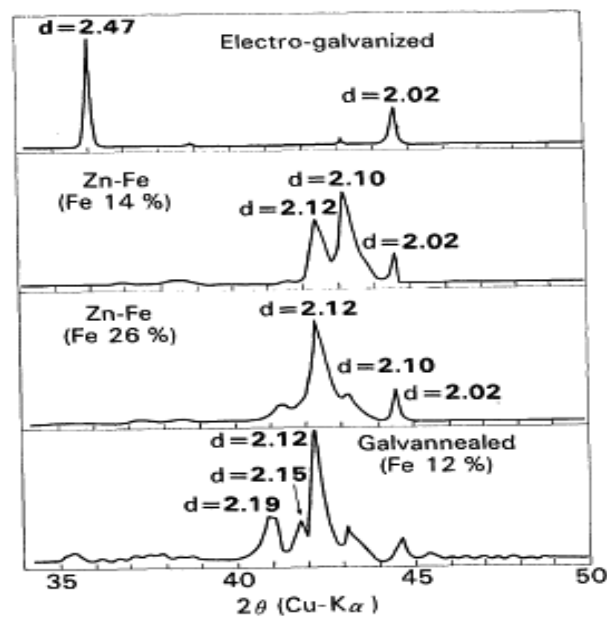
Η αντίσταση κατά την διάνοιξη(τρύπημα) των EL επιστρωμένων μέσω ηλεκτρόλυσης με Zn-Fe κράματα διαφορετικού περιεχομένου σιδήρου και εναποθετιμένα ηλεκτρικά με καθοδικό στρώμα (primer) καθορίστηκε με τεστ ψεκασματος αλατιού.

Τα αποτελέσματα του τεστ δίνονται στην Φωτ. 3.25. Η επίστρωση Zn-Fe έχει καλή αντίσταση στη διάνοιξη πάνω από ένα περιεχόμενο σιδήρου 10 έως 30% και συγκρίνεται ευνοικά με την επίδοση γαλβανισμένων χαλύβων.

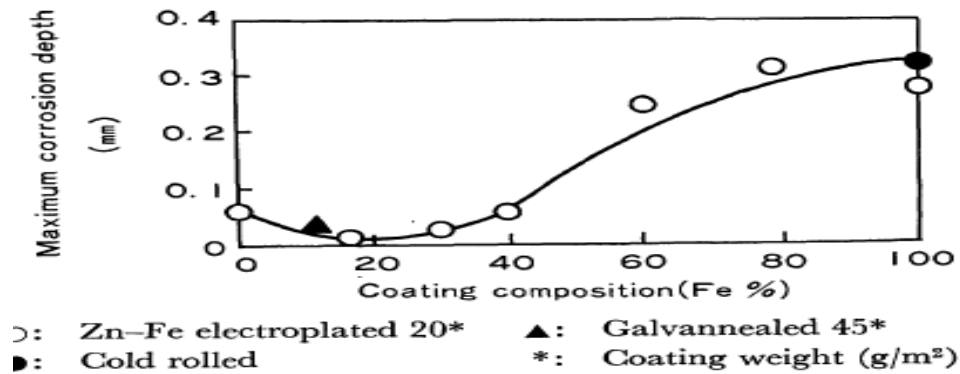
Άλλα τρία διαγράμματα της Φωτ. 3.25 δεν δείχνουν κορυφή  $d = 2.47$ , το οποίο δείχνει ότι τα κράματα επίστρωσης Zn-Fe με λεπτή κλίμακα συγκέντρωσης δεν περιέχουν φάση η. Εξαιτίας της έλλειψης της φάσης η, η απόσπαση της μεμβράνης χρώματος, ένα φαινόμενο που συχνά παρατηρείται σε παραδοσιακά φύλλα χάλυβα με επίστρωση ψευδαργύρου, παρουσιάζει καθυστέρηση.

Η αντίσταση στη διάνοιξη (τρύπημα) είναι επίσης καλύτερη από αυτή των επιστρωμένων με ψευδάργυρο φύλλων. Ένα περιεχόμενο σιδήρου πάνω από 30% δεν είναι επιθυμητό, γιατί η επίστρωση δεν προσφέρει αρκετή προστασία για το μέταλλο βάσης σε αυτή την περίπτωση.

Τα παραδοσιακά επικαλυμμένα φύλλα ψευδαργύρου δεν αναπτύσσουν άμεσα διάβρωση με καύκαλα (σημάδια). Με αυτό τον τρόπο είναι αποτελεσματικό υλικό εναντίον της κοσμητικής διάβρωσης.



Εικόνα 3.6.7

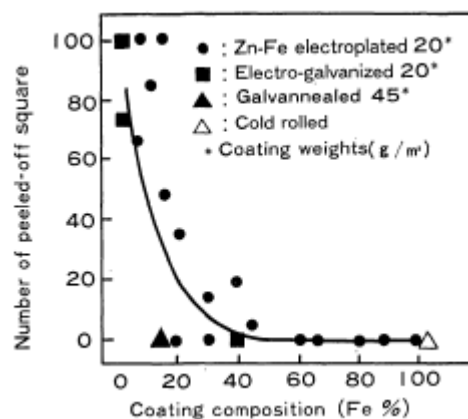


Φωτ. 3.25

Συνεπώς, η σχέση ανάμεσα στο περιεχόμενο του σιδήρου του κράματος επίστρωσης Zn-Fe και της υγρής κόλλησης της διαφάνειας χρώματος ερευνήθηκε. Τα αποτελέσματα δίνονται στην Φωτ. 3.26, η οποία δείχνει ότι η υγρή κόλληση της διαφάνειας του χρώματος βελτιώνεται καθώς το περιεχόμενο του σιδήρου της επίστρωσης υπερβαίνει το 60%. Απόσπαση της διαφάνειας του χρώματος σε υγρά περιβάλλοντα κυρίως συμβαίνει στην επιφάνεια ανάμεσα στο χρώμα καθοδικής ηλεκτρονικής εναπόθεσης και στη φωσφορική επίστρωση.

Η δημιουργία του phosphorhyllite, ένα είδος φωσφορικής επίστρωσης που είναι δύσκολο να διαλυθεί σε αλκαλικά που δημιουργείται κατά τη διάρκεια καθοδικής εναπόθεσης και κάτω από διαβρωτικά περιβάλλοντα, αναφέρεται ότι είναι αποτελεσματικό στο να καθυστερεί αυτή την απόσπαση.

Καθώς μια επίστρωση φωσφόρου εφαρμόζεται μέσω βύθισης, η φωσφορική επίστρωση σχεδόν ολοκληρωτικά αποτελείται από phosphorhyllite πάνω στο Zn-Fe κράμα, όταν το περιεχόμενο σιδήρου είναι πάνω από 60%.

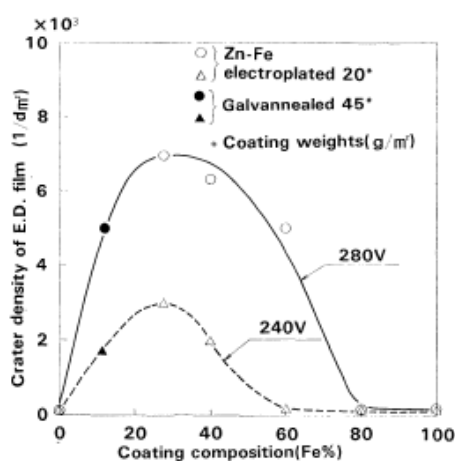


Φωτ. 3.26

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται όταν τα παραδοσιακά χαλύβδινα φύλλα κράματος ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται για τις εξωτερικές επιφάνειες των αμαξωμάτων είναι η παρουσία ελαττωμάτων με την μορφή κρατήρων πάνω στο χρώμα, κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής εναπόθεσης.

Η εφαρμογή μεσαίων και τελικών επιστρώσεων πάνω σε αυτά τα πρώτα στρώματα που είναι ελαττωματικά δεν μπορούν να βελτιώσουν την εμφάνιση του αμαξώματος του αυτοκινήτου.

Η σχέση ανάμεσα στην τάση για δημιουργία κρατήρων κατά τη διάρκεια της καθοδικής ηλεκτρικής εναπόθεσης και του περιεχομένου σιδήρου του κράματος Zn-Fe παρουσιάζεται στην Φωτ. 3.27. Εδώ φαίνεται ότι η τάση για κρατήρες μπορεί να μειωθεί όταν το περιεχόμενο σε σίδηρο είναι 60% και πάνω.



Φωτ. 3.27

Είναι φανερό από τα παραπάνω εμπειρικά ευρήματα ότι δεν υπάρχει ούτε ένα κράμα επίστρωσης Zn-Fe που να μπορεί ταυτόχρονα να ανταποκρίνεται και στις τέσσερις αυτές ποιοτικές ιδιότητες που απαιτούνται από τα αντι-διαβρωτικά χαλύβδινα φύλλα που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα.

Μια πλούσια σε ψευδάργυρο επίστρωση παρέχει καλή αντίσταση στη διάτρηση και στη διάβρωση με σημάδια, ενώ μια επίστρωση πλούσια σε σίδηρο εμποδίζει την δημιουργία κρατήρων κατά την διάρκεια της πρώτης καθοδικής ηλεκτρικής εναπόθεσης και εξασφαλίζει καλή υγρή κόλληση για την διαφάνεια χρώματος.

Όταν έγινε αντιληπτό το γεγονός ότι αυτές οι ιδιότητες είναι επιφανειακές ιδιότητες, τότε μια διπλής στρώσης Zn-Fe επίστρωση με ένα κατώτερο στρώμα ανθεκτικής στη διάβρωση και πλούσιας σε ψευδάργυρο επίστρωσης και ένα ανώτερο στρώμα από λεπτή, πλούσια σε σίδηρο επίστρωση μπορούν να ανταποκριθούν σε όλες τις απαιτήσεις. Βασιζόμενοι σε αυτή την σκέψη, το φύλλο κράματος διπλής στρώσης Zn-Fe αναπτύχθηκε.

Όταν το βάρος της επίστρωσης του πάνω στρώματος είναι 2g/m<sup>2</sup> ή περισσότερο, μια διαφάνεια φωσφόρου η οποία αποτελείται ομοίωμα από phosphorhyllite μπορεί να δημιουργηθεί για να αποδώσει καλή υγρή κόλληση και να εμποδίσει τη δημιουργία κρατήρων κατά τη διάρκεια της καθοδικής ηλεκτρικής εναπόθεσης.

Το περιεχόμενο σιδήρου του πάνω στρώματος καθορίστηκε σε κλίμακα από 75 έως και 85% λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα επίδοσης και την ελαχιστοποίηση της δυνατότητας διάβρωσης όπως αυτά διαφοροποιούνται ανάμεσα στο πάνω και στο κάτω στρώμα. Το περιεχόμενο σιδήρου του κάτω στρώματος σχεδιάστηκε σε κλίμακα μεταξύ του 10 και 20%.

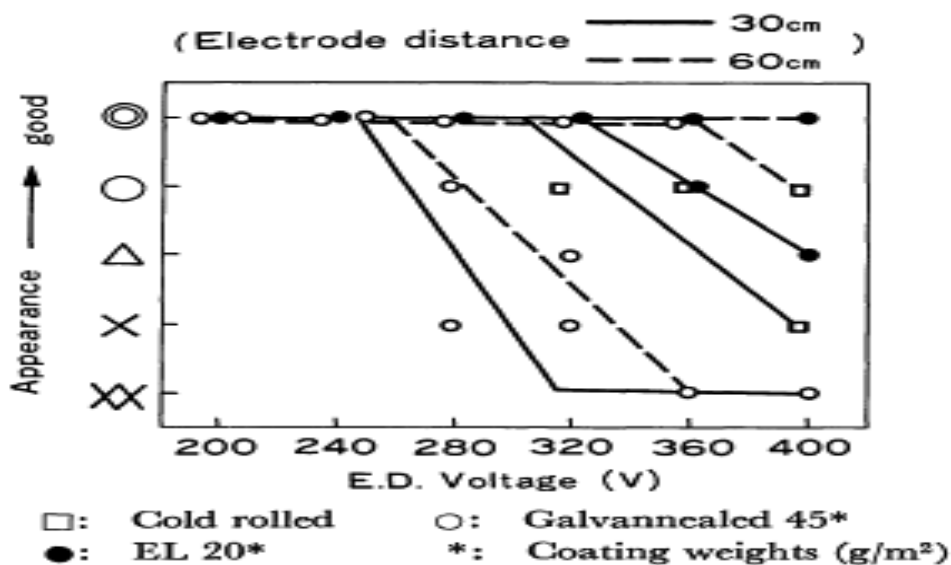
Ένα χαρακτηριστικό του EL είναι ότι είναι ένα ανθεκτικό στη διάβρωση φύλλο χάλυβα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα εξωτερικά τμήματα των αμαξωμάτων και να εξασφαλίσει προστασία από την κοσμετική διάβρωση.

Μια καλή ιδιότητα που απαιτείται είναι η καλή υγρή κόλληση της διαφάνειας χρώματος. Το EL επιδεικνύει άριστη υγρή κόλληση χωρίς κλείσιμο(σφράγισμα) χρωμίου, επειδή η επίστρωση φωσφόρου μετατρέπεται σε phosphorhyllite από το πάνω στρώμα του Zn-Fe κράματος.

Μια άλλη απαίτηση είναι η ικανότητα να εμποδίζεται η παρουσία κρατήρων κατά τη εφαρμογή ρεύματος για καθοδική ηλεκτρική εναπόθεση χρώματος.

Η Φωτ. 3.28 δείχνει τη σχέση ανάμεσα στις συνθήκες καθοδικής ηλεκτρικής εναπόθεσης χρώματος και στην εμφάνιση της διαφάνειας χρώματος. Το EL παρέχει διαφάνειες χρώματος καλής εμφάνισης για σχετικά υψηλά βολτ και μικρή απόσταση ηλεκτροδίων. Σχεδόν η ίδια ευρεία κλίμακα συνθηκών ηλεκτρικής εναπόθεσης μπορεί να εφαρμοστεί όπως και για τα ψυχρής επεξεργασίας φύλλα χάλυβα. Αυτά τα χαρακτηριστικά δεν απαντώνται στα παραδοσιακά φύλλα χάλυβα με επίστρωση ψευδαργύρου.

Το αποτέλεσμα που αναμένεται για το κράμα χάλυβα Fe-Zn είναι αντίσταση στη διάβρωση η οποία αποδίδεται στη συνεργατική δράση ανάμεσα στην επίστρωση του κράματος και στη διαφάνεια χρώματος.



Φωτ. 3.28

Τα βαμμένα με ηλεκτρική εναπόθεση φύλλα με διαγώνιες κοπές στη διαφάνεια της βαφής, με το να λαμβάνουμε υπόψη μας την άβαφες εκτεθειμένες περιοχές και την διάβρωση μέσω επαφής, εκτιμήθηκαν για αντίσταση στη διάτρηση, με το σύνθετο τεστ διάβρωσης που περιλάμβανε ψεκασμό με αλάτι και υγρά και ξηρά περιβάλλοντα.

Η αντίσταση στη διάτρηση του EL με ένα βάρος επίστρωσης  $20+ 3g /m^2$  είναι σχεδόν ίση με αυτή του γαλβανισμένου χάλυβα με βάρος επίστρωσης  $4g/m^2$ . Πιο συγκεκριμένα, τα EL με ηλεκτρική εναπόθεση μόνο  $10\mu m$  καθοδικής βαφής επιδεικνύουν καλή αντίσταση στη διάτρηση, ίσως εξαιτίας του ότι μπορούν άμεσα να δεχτούν την καθοδική βαφή μέσω ηλεκτρικής εναπόθεσης. Αφού η ικανότητα διαμόρφωσης υπό πίεση εξαρτάται από τη φύση του μετάλλου βάσης, το EL είναι όμοιο με τον αντίστοιχο κρύας επεξεργασίας χάλυβα σε ικανότητα διαμόρφωσης υπό πίεση.

Σε διαμόρφωση υπό πίεση, το κράμα επίστρωσης του EL ξεφλουδίζει όχι σαν νιφάδες αλλά σαν σκόνη. Η σκόνη της επίστρωσης EL είναι εξαιρετικά μικρή σε σύγκριση με το γαλβανισμένο χάλυβα.

Οι λόγοι είναι οι ακόλουθοι : το κάτω στρώμα του EL είναι μια ομοιόμορφη επίστρωση των  $\delta$  και  $\epsilon$  φάσεων και δεν έχει αδύνατα σημεία εξαιτίας της συγκέντρωσης πίεσης, ενώ η επίστρωση του γαλβανισμένου χάλυβα είναι lamellar στη δομή και είναι κρίσιμη ανάμεσα στις φάσεις  $\delta 1$  και  $\epsilon$ . ο διαχωρισμός μεταξύ των πάνω και κάτω στρωμάτων δεν παρατηρήθηκε στο EL.

Όσον αφορά τις βέλτιστες συνθήκες συγκόλλησης, το EL είναι σχεδόν το ίδιο με τα γαλβανισμένα φύλλα χάλυβα σε συνθήκες συγκόλλησης και μπορούν να συγκολληθούν με μια ευρεία σειρά συνθηκών.

### **3) Φύλλα χάλυβα καλυμμένα με στρώμα οργανικής σύνθεσης (W2)**

Στη σημερινή εποχή, ο γαλβανισμένος χάλυβας, καθώς και το χαλύβδινο φύλλο που έχει επενδυθεί με ψευδάργυρο, (Zincrometal όπως αναφέρεται σαν ZM ) χρησιμοποιούνται ευρέως για τη προστασία από την διάβρωση των αμαξωμάτων των αυτοκινήτων.

Ο γαλβανισμένος χάλυβας είναι ανώτερος από το ZM στην ικανότητα διαμόρφωσης και στην συγκολλητική ικανότητα, αλλά έχει προβλήματα, όπως η γρήγορη κατανάλωση ψευδαργύρου κάτω από συγκεκριμένα διαβρωτικά περιβάλλοντα και η χαμηλή δυνατότητα εφαρμογών σε καθοδική ηλεκτρική εναπόθεση βαφής.

Το ZM, από την άλλη μεριά, επιδεικνύει σταθερή αντίσταση στη διάβρωση, σε μορφή επίπεδου φύλλου, και για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Είναι όμως πιθανόν να προκαλέσει ξεφλούδισμα του χρώματος κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης υπό πίεση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πτώση στην αντίσταση διάβρωσης συγκεκριμένων περιοχών.

Και τα δύο είδη επενδυμένων χαλύβδινων φύλλων έχουν κοινά προβλήματα στο ότι η ικανότητα διαμόρφωσης και η συγκολλητική ικανότητα χειροτερεύουν, όταν το βάρος της επίστρωσης αυξάνει για να προστατεύσει από την διάβρωση. Ηλεκτρογαλβανισμένα φύλλα χάλυβα με πλούσιο χρώμα ψευδαργύρου (Welcote – αναφερόμενο ως WC) είναι ένα εναλλακτικό υλικό για να αντιμετωπιστούν τα μειονεκτήματα του ZM.

Για να ανταποκριθούμε στις απαιτήσεις των πελατών για καλύτερη προστασία από τη διάβρωση, ικανότητα διαμόρφωσης και συγκολλητική ικανότητα, αναπτύχθηκε ένα οργανικό χαλύβδινο φύλλο W2 σύνθετης επένδυσης. Έχει μια ιδιαίτερα βελτιωμένη πλούσια σε ψευδάργυρο επικάλυψη εφαρμοσμένη πάνω σε ένα κράμα επίστρωσης ψευδαργύρου χαμηλού βάρους.

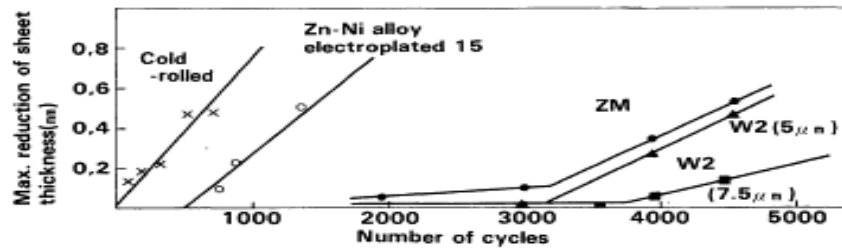
Η υψηλή αντίσταση στη διάβρωση του ZM προέρχεται από το σύνθετο αποτέλεσμα του αδρανούς στρώματος (Dacromet) που χρησιμοποιεί την προστασία διάβρωσης του χρωμίου και του πρώτου χρωματισμένου στρώματος ψευδαργύρου (Zincromet) που είναι ένα επάνω πλούσιο στρώμα ψευδαργύρου.

Το W2, σε αντίθεση, αποτελείται από ένα κάτω στρώμα κράματος Zn-Ni που ανταποκρίνεται στο αδρανές στρώμα και προσφέρει άριστη αντίσταση στην διάβρωση και ικανότητα διαμόρφωσης, ένα μεσαίο στρώμα χρωμίου που εφαρμόζεται για να βελτιώσει την σωστή εφαρμογή του χρώματος και την αντίσταση στη διάβρωση, και ένα πλούσιο πάνω στρώμα από ψευδάργυρο με σκληρή επαγωγική μεταλλική σκόνη που έχει προστεθεί για να αυξήσει και την συγκολλητική ικανότητα και την ικανότητα διαμόρφωσης του χρώματος. Το πάχος αυτής της διαφάνειας χρώματος είναι 5  $\mu\text{m}$  και το μισό ή και λιγότερο από αυτό είναι το πρώτο χρωματισμένο στρώμα του ψευδαργύρου.

Το W2 είναι ίδιο ή και καλύτερο από το ZM στην αντίσταση διάβρωσης, γιατί ένα κράμα επίστρωσης με υψηλή αντίσταση διάβρωσης έχει εφαρμοστεί σαν κάτω στρώμα αν και η διαφάνεια χρώματος στο πάνω στρώμα είναι λεπτότερη, και παρέχει πολύ υψηλότερη ικανότητα διαμόρφωσης και συγκολλητική ικανότητα. Η αντίσταση στη διάβρωση σε κατάσταση πριν την βαφή εξαρτάται από την αντίσταση διάβρωσης και την παχύτητα της πάνω οργανικής σύνθετης επίστρωσης και του κάτω στρώματος του κράματος Zn-Ni.

Η Φωτ. 3.29 δείχνει την σχέση ανάμεσα στο πάχος της διαφάνειας και την αντίσταση στη διάβρωση όπως καθορίζονται από την μέθοδο σύνθετης κυκλικής διάβρωσης, που θεωρείται η καλύτερη μέθοδος για να εκτιμά την αντίσταση στη διάβρωση στα αμαξώματα των αυτοκινήτων.

Όπως είναι φανερό από το διάγραμμα, η οργανική σύνθετη επίστρωση έχει δύο αποτελέσματα. Καθυστερεί την μείωση της πυκνότητας του φύλλου και μειώνει το ποσοστό διάβρωσης. Για το ZM η αρχή της μείωσης της πυκνότητας λόγω της διάβρωσης γίνεται νωρίς, αλλά το ποσοστό της επικείμενης διάβρωσης είναι χαμηλό, γιατί η διαφάνεια χρώματος εφαρμόζεται σε μεγάλη πυκνότητα 17-21  $\mu\text{m}$ .



Φωτ. 3.29

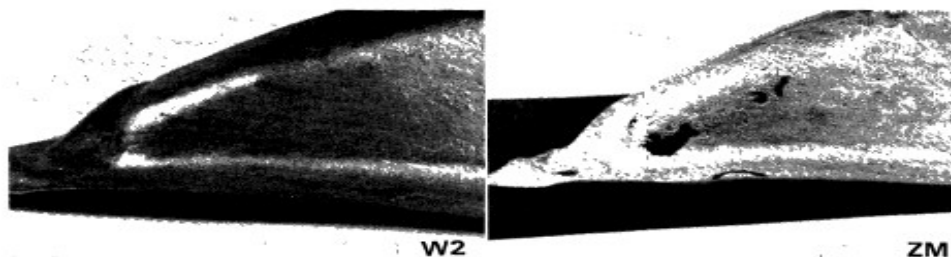
Με το WC, από την άλλη μεριά, η μείωση της πυκνότητας του φύλλου αρχίζει μόλις καταναλωθεί η επίστρωση του ψευδάργυρου, διότι το πάνω οργανικό σύνθετο στρώμα είναι λεπτό. Για αυτό το λόγο, η ανθεκτικότητα της διαφάνειας χρώματος έχει βελτιωθεί με το να μειωθεί ο βαθμός κατανάλωσης με τη χρήση του στρώματος κράματος Zn-Ni, και με το να μειωθεί το ποσοστό του ψευδαργύρου στην οργανική επίστρωση.

Σαν αποτέλεσμα, το W2 παρέχεται με μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από το ZM, ακόμα και όταν η πυκνότητα της οργανικής σύνθετης επίστρωσης μειώνεται σε 5μm. Το W2 επίσης έχει άριστη αντίσταση στη διάβρωση σε κατάσταση βαφής και σε σχηματισμένες περιοχές.

Η Φωτ. 3.30 δείχνει τη διάβρωση τμημάτων που έχουν κοπεί από τμήματα πολύ δουλεμένα, σχηματισμένων υπό πίεση πίσω τροχών, εξωτερικών πάνελ και ελεγμένων με το σύνθετο κυκλικό τεστ διάβρωσης. Η Φωτ. 3.31 δείχνει τις μειώσεις στην πυκνότητα των χαλύβδινων φύλλων στους δοκούς οροφής μετρημένες με το σύνθετο κυκλικό τεστ διάβρωσης. Ενώ το ZM έχει μειωμένη αντίσταση στη διάβρωση λόγω της πίεσης διαμόρφωσης, το W2 έχει μικρότερη μείωση της αντίστασης διάβρωσης. Αυτή η διαφορά μπορεί να εξηγηθεί ως εξής.

Στην περίπτωση του ZM, το κάτω στρώμα καταστρέφεται λόγω πίεσης διαμόρφωσης, ενώ στην περίπτωση του W2, το ξεφλούδισμα εμφανίζεται λιγότερο στην πάνω οργανική επιφάνεια επίστρωσης και το κράμα επίστρωσης Zn-Ni υπάρχει κάτω.

Το ZM έχει προσθέσει σκόνη ψευδαργύρου 85% του όγκου σε ρητίνη βασισμένη σε epoxy, για να εξασφαλίσει καλή συγκολλητική ικανότητα και αντίσταση στη διάβρωση. Αυτό το υψηλό σε σκόνη ψευδαργύρου περιεχόμενο, όμως, είναι πιθανόν να προκαλέσει ξεφλούδισμα σε τμήματα κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης υπό πίεση.



Φωτ. 3.30

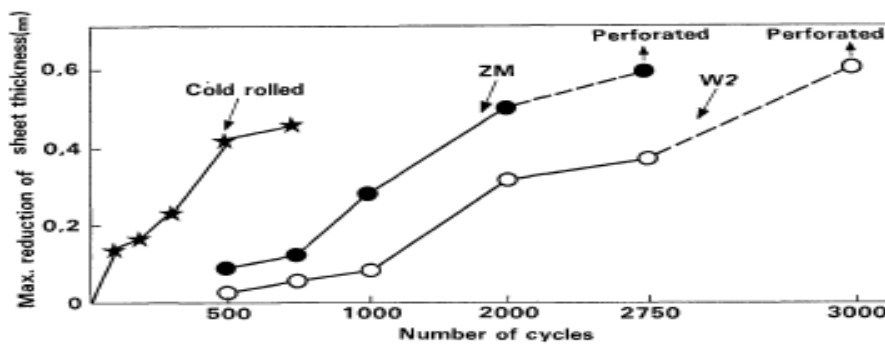
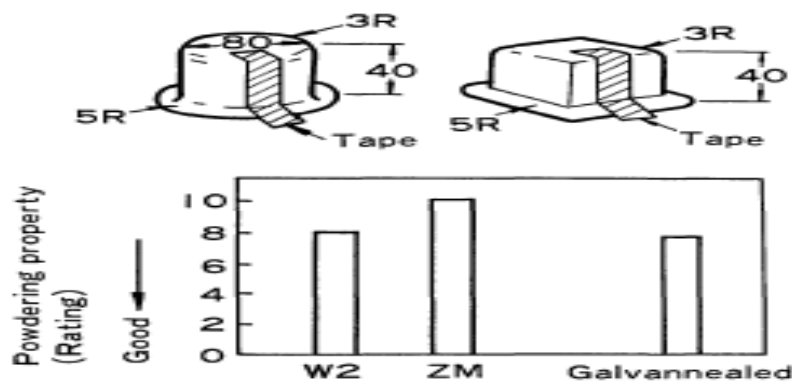


Fig. 12. Corrosion resistance of pressed parts under non-  
Φωτ. 3.31



Φωτ. 3.32

Για να βελτιωθεί η ικανότητα διαμόρφωσης, το W2 έχει περιορίσει το συνολικό ποσοστό μεταλλικής σκόνης σε 75% ή λιγότερο με την προσθήκη σκληρής και επαγωγικής μεταλλικής σκόνης.

Η Φωτ. 3.32 εκτιμά αναλυτικά την ικανότητα διαμόρφωσης των επιστρωμένων χαλύβδινων φύλλων με στρογγυλά και ορθογώνια σχεδιαστικά τεστ και δείχνει ότι το W2 διαμορφώνεται καλύτερα από το ZM. Η επίστρωση χρωμίου επίσης συνεισφέρει στην καλή ικανότητα διαμόρφωσης με το να βελτιώνει την κόλληση του οργανικού συνθέτου πάνω στο χάλυβα βάσης.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα με τα οργανικής επίστρωσης χαλύβδινα φύλλα όταν χρησιμοποιούνται ως υλικά αντίστασης στη διάβρωση για αμαξώματα αυτοκινήτων είναι η συγκολλητική ικανότητα.

Το να μειωθεί η πυκνότητα της οργανικής επίστρωσης είναι αποτελεσματικό για να μειωθεί η ηλεκτρική αντίσταση από τη διαφάνεια του χρώματος, και η μόλυνση των ηλεκτροδίων από οργανικό υλικό. Αφού περιέχει μια σκληρή μεταλλική σκόνη καλής αγωγιμότητας και έχει μια πυκνότητα οργανικής σύνθετης επίστρωσης μόνο 5μm το W2 είναι πιο εύκολο στη συγκόλληση από το ZM αν και το μεταλλικό περιεχόμενό του είναι μικρότερο.

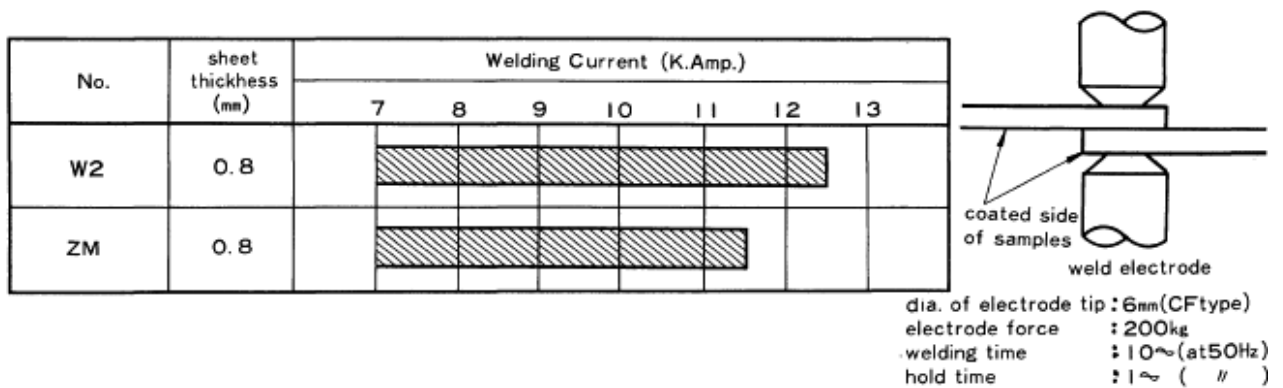


Η Φωτ. 3.33 δείχνει την κλίμακα βέλτιστης τοπικής συγκόλλησης για τα W2, ZM και για τον χάλυβα κρύας επεξεργασίας. Η Φωτ. 3.34 δίνει τα αποτελέσματα της συνεχούς επιτόπιας συγκολλητικής ικανότητας. Το W2 είναι ανώτερο από το ZM σε επιτόπου συγκολλητική ικανότητα.

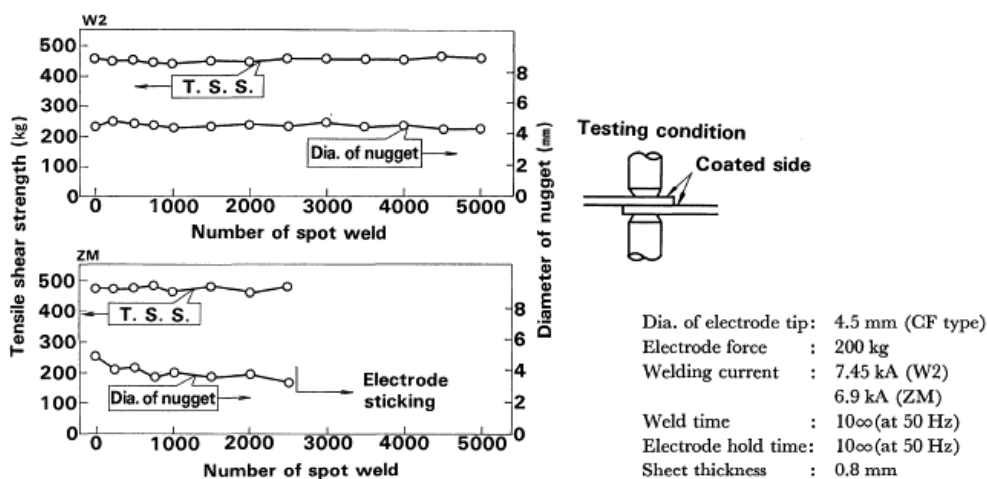
Κατά τη συναρμολόγηση των αμαξωμάτων γίνονται δομικές κολλήσεις και συμπεριλαμβανομένων των συρραφών, χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες σαν μέσα κόλλησης εκτός από την συγκόλληση.

Το W2 δεν ξεφλουδίζει στις επιφάνειες που έχουν ενωθεί με κόλληση και αντέχει το βάρος του έως και την ρωγμή του χαλύβδινου στρώματος. Δείχνει υψηλή επίδοση, αντίστοιχη με αυτή των χαλύβων ψυχρής επεξεργασίας, διότι τα πάνω και κάτω στρώματα έχουν κολλήσει καλά. Το W2 κατασκευάζεται με τη συνθετική χρήση ηλεκτρόλυσης και βαφής.

Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό της κατασκευαστικής του τεχνολογίας βρίσκεται στην εφαρμογή λεπτής διαφάνειας του κράματος Zn-Fe και επικάλυψης με περιεχόμενο μεταλλικής σκόνης.



Φωτ. 3.33



Φωτ. 3.34

Η ικανότητα κόλλησης είναι μια σημαντική ιδιότητα για ανθεκτικούς στη διάβρωση χάλυβες επίσης. Αφού το αδρανές σώμα είναι χαμηλό σε περιεχόμενο ρητίνης, το ΖΜ σπάει πάνω σε αυτό το στρώμα όταν ελέγχεται με τη χρήση δειγμάτων κόλλησης, και είναι χαμηλής ισχύος, όπως φαίνεται στη Φωτ. 3.35

Steel sheet	Shear-test		Peel-test	
	Shear strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Part of damage	Peel strength (kg/cm)	Part of damage
W2	(107.6)	Rupture of sheet	6.9	Adhesive / Substrate
ZM	57.8	Coating film	1.6	Adhesive / Substrate
Cold-rolled	(108.0)	Rupture of sheet	5.7	Adhesive / Substrate

Φωτ. 3.35

### 3.7 Συμπεράσματα

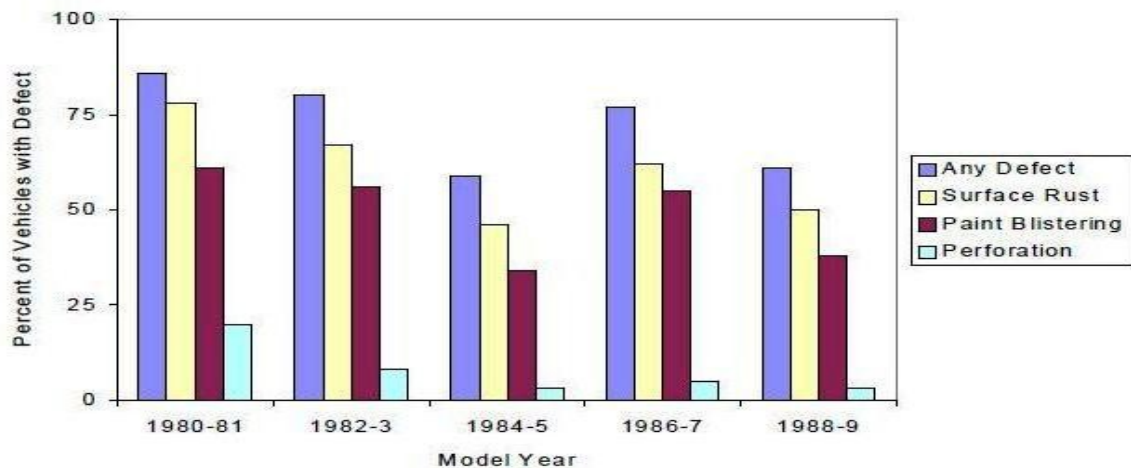
Τις τελευταίες δεκαετίες, η προσοχή έχει εστιαστεί στη διάβρωση των αμαξωμάτων των αυτοκινήτων και σημαντική ανάπτυξη έχει γίνει στον αριθμό και στη πολυπλοκότητα των συστημάτων και τεχνικών προστασίας από τη διάβρωση. Αυτό το μέρος εξετάζει κάποιες από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές αιτίες και κατηγοριοποιεί τα διάφορα είδη διάβρωσης που προκύπτουν. Υπογραμμίζει τη μεγάλη κλίμακα των αντισταθμιστικών μέτρων που διατίθενται στις μέρες μας και εξερευνά, εν συντομία, τις μελλοντικές ανάγκες.

Η αυτοκινητοβιομηχανία και η βιομηχανία χάλυβα έχουν μια μακρά ιστορία συνεργασίας, η οποία έχει σταθερά βελτιώσει το Βορειοαμερικανικό επιβατικό αυτοκίνητο. Περίπου πενήντα χρόνια πριν, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων αναζήτησαν μεγαλύτερη δύναμη και αντοχή στα οχήματά τους και οι παραγωγείς χάλυβα ανταποκρίθηκαν με την ψυχρή ελασματοποίηση πολύ πλατιών φύλλων χάλυβα χαμηλού άνθρακα, πράγμα που άνοιξε το δρόμο για μεγαλύτερη ασφάλεια όλων των αμαξωμάτων. Αργότερα, αναπτύχθηκαν χάλυβες καλύτερου σχηματισμού για να καταστήσουν δυνατό το σχεδιασμό πιο περίπλοκων τμημάτων αμαξώματος. Πολύ πρόσφατα, οι παραγωγείς επέκτειναν τις προσφορές τους για υψηλότερης ισχύος χάλυβες και πιο οικονομικές λύσεις για εξαρτήματα και συναρμολογήσεις για μεγαλύτερη οικονομία στα καύσιμα των οχημάτων.

Στις μέρες μας, η υιοθέτηση εκ μέρους μεγάλων παραγωγών υψηλών μεθόδων τεχνολογίας παρασκευής χάλυβα και ελασματοποίησης, είχαν σαν αποτέλεσμα την παραγωγή φύλλων χάλυβα με πολύ πιο συνεπείς ιδιότητες.

Καθώς η χρήση άλατος στο δρόμο έχει αυξηθεί, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά, η καταστροφή των οχημάτων από τη διάβρωση έχει επίσης αυξηθεί. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι προμηθευτές της ανταποκρίθηκαν με αλλαγές στο σχεδιασμό και βελτιώσεις στα υλικά που χρησιμοποιούνται. Αυτές οι προσπάθειες ξεκίνησαν με τα γαλβανισμένα φύλλα χάλυβα, στα τέλη του 1950, επεκτάθηκαν με μια μεγάλη κλίμακα επιστρώσεων για άλλα πιο ευαίσθητα εξαρτήματα, και πραγματοποίησαν μια σημαντική στροφή στην προστασία των οχημάτων από τη διάβρωση. Οι προσπάθειες συνεργασίας θα συνεχιστούν καθώς τα κέρδη που έχουν ήδη επιτευχθεί (Φωτ. 3.36) αποτελούν τη βάση για επιπλέον βελτιώσεις και για «καλό συντονισμό» των συστημάτων προστασίας, μέσα από μια πιο επιλεκτική και πιο αποτελεσματική χρήση της κάθε μιας.

### 1995 SAE Parking Lot Survey Results



Φωτ. 3.36

Άλλες περιβαλλοντικές αιτίες της διάβρωσης κατά μήκος της χώρας δεν μπορούν να αγνοηθούν. Για παράδειγμα, η μόλυνση του αέρα στα βιομηχανικά κέντρα αποτελεί μια απειλή, ιδιαίτερα εκεί που τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου και χλωριδίου είναι υψηλά. Διαδικασίες ελέγχου της σκόνης σε αγροτικούς δρόμους επίσης αποτελούν μια απειλή το καλοκαίρι. Και στις παραθαλάσσιες περιοχές η έκθεση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου σε ψεκασμούς άλατος, ομίχλη και άλλα χημικά σε συνδυασμό με υψηλή υγρασία μπορούν επίσης να προκαλέσουν ζημιά διάβρωσης.

Τα αίτια της διάβρωσης παρόλα αυτά, δεν περιορίζονται μόνο σε χειμερινή δραστηριότητα, ούτε επίσης περιορίζονται σε οχήματα που οδηγούνται στην «ζώνη άλατος» πολύ καιρό μετά, αφού το χιόνι έχει φύγει, αδρανή υλικά άλατος, που έχουν αποθεθεί πάνω σε αυτά τα οχήματα μπορούν να ανανεώσουν τη διαβρωτική τους δράση όταν ξανά-υγρανθούν από τις ανοιξιάτικες βροχές.

Παρόλο που η διάβρωση επίσης συμβαίνει σε οχήματα σε άλλες βόρειες πολιτείες, η ζημιά είναι συνήθως λιγότερο σοβαρή όταν οι χειμωνιάτικες θερμοκρασίες είναι συνήθως πολύ χαμηλές για να γίνει αποτελεσματική χρήση των χημικών αποπάγωσης.

Η διάβρωση των οχημάτων χαρακτηρίζεται από διαφορετικές μορφές και είδη, τα οποία προκαλούν ζημιά που κυμαίνεται από μικρή έως και πολύ σοβαρή. Ένα σημαντικό πρώτο βήμα στον καθορισμό και στην αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η κατηγοριοποίηση των διαφορετικών ειδών διάβρωσης και η πιστοποίηση των αποτελεσμάτων της.

Τα είδη διάβρωσης στα αυτοκίνητα όπως προαναφέραμε στο κεφάλαιο 1 είναι τα εξής:

- **Ομοιόμορφη Διάβρωση**

Η ομοιόμορφη διάβρωση προχωρά ομοιόμορφα πάνω σε ολόκληρη την εκτεθειμένη επιφάνεια ενός μη-επιστρωμένου τμήματος και στο τέλος προκαλεί μια γενική λέπτυνση του μετάλλου. Είναι το πιο γνωστό είδος διάβρωσης, αλλά είναι και το λιγότερο καταστροφικό. Στις αυτοκινητοβιομηχανίες, η ομοιόμορφη διάβρωση δεν σχετίζεται με διάτρηση ή με δομικές καταστροφές.

- **Γαλβανική Διάβρωση**

Ο μηχανισμός γαλβανικής διάβρωσης μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα και χρησιμοποιείται ευρέως ως το πρωταρχικό σύστημα προστασίας για τον χάλυβα. Μια λεπτή επίστρωση ψευδαργύρου ή κράματος ψευδαργύρου σε αυτόν θα διαβρωθεί πρώτη και αυτή η θυσιαστική δράση παρέχει μακροπρόθεσμη προστασία για το υπόστρωμα.

Η γαλβανική διάβρωση συμβαίνει όταν δύο μέταλλα διαφορετικής δραστηριότητας τοποθετούνται σε επαφή το ένα με το άλλο στην παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Το πιο δραστικό μέταλλο θα αντιδράσει ανοδικά και θα διαβρωθεί νωρίτερα από το λιγότερο δραστικό μέταλλο το οποίο ως κάθοδος, που είναι, προστατεύεται.

- **Διάβρωση Σχισμών**

Η Διάβρωση Σχισμών είναι το πιο καταστροφικό είδος που συναντάμε στα αυτοκίνητα, επειδή εστιάζει αυστηρά σε τοπικές περιοχές και είναι μη ορατή, σε αρχικό στάδιο. Η επίθεση είναι γρήγορη, και συχνά έχει σαν αποτέλεσμα μη προβλέψιμη ή πρόωρη φθορά. Η Διάβρωση Σχισμών συνήθως σχετίζεται με μικρές ποσότητες στάσιμου διαλύματος ή ηλεκτρολύτη που έχει παγιδευτεί σε σχισμές, σε φλάντζες, σε συνδέσεις.

Η διάβρωση σχισμών παραμένει ένα μεγάλο πρόβλημα εξαιτίας των κοινών σημερινών κατασκευαστικών τεχνικών κατά τις οποίες το σώμα του αυτοκινήτου αποτελεί μια μάζα τμημάτων και ενώσεων. Είναι σχεδόν αδύνατον να εξαλείψει κάποιος τις μικρο-ρωγμές ανάμεσα στις συνδεδεμένες επιφάνειες που αποτελούν τα κύρια μέρη για επίθεση διάβρωσης σχισμών. Η σοβαρότητα της διάβρωσης σχισμών αποδεικνύεται από εξαπλωμένη διάβρωση στο εσωτερικό του οχήματος, αλλά και κάτω από αυτό, καθώς και από την ακόλουθη διάτρηση των τμημάτων του αμαξώματος.

- **Διάβρωση ουλών**

Η διάβρωση Ουλών είναι μια τοπική διάβρωση που συνήθως προκαλείται από χλωρίδια. Ο μηχανισμός που κυβερνά την ανάπτυξη των ουλών είναι παρόμοιος με αυτόν της διάβρωσης σχισμών. Στην πραγματικότητα, οι ουλές είναι «μικρές» σχισμές που συνήθως έχουν διάμετρο ίση με το βάθος τους. Μπορεί να παρουσιαστούν τόσο κοντά μεταξύ τους που δίνουν την εμφάνιση μιας άγριας επιφάνειας.

Είναι ένα αυτόβουλο είδος διάβρωσης σχισμών, από το γεγονός ότι η διαδικασία διάβρωσης δημιουργεί την ουλή (ή σχισμή) η οποία πολλαπλασιάζεται, με επιταχυμένο ρυθμό, και στο τέλος διατρυπά το μέταλλο. Η έναρξη των ουλών συνήθως είναι αποτέλεσμα ανομοιογενειών, ρωγμών στις προστατευτικές μεμβράνες, αποθεμάτων στην επιφάνεια, ελαττωμάτων ή ατελειών.

- **Διάβρωση βαμμένου χάλυβα**

Η διάβρωση των εξαρτημάτων αυτοκινήτου συνήθως κατηγοριοποιείται σύμφωνα με την αρχική θέση και κατεύθυνση της επίθεσης. Όταν η επίθεση ξεκινά από μια εσωτερική επιφάνεια ή μέσα από ένα κλειστό ή μισό-κλειστό μέρος, τότε ονομάζεται «διάτρηση» ή διάβρωση «από μέσα προς τα έξω». Διάβρωση η οποία ξεκινά από ορατές εξωτερικές επιφάνειες, συνήθως σε σχισμές ή γρατσουνιές στη βαφή, ονομάζεται «κοσμητική» ή διάβρωση «από έξω προς τα μέσα».

- **Διάβρωση Διάτρησης**

Η διάβρωση διάτρησης μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή δομική ζημιά που μπορεί να συνεχίζει χωρίς να μπορεί να εντοπιστεί έως τη στιγμή που γίνεται ορατή στην εξωτερική επιφάνεια, αφού τρυπήσει το μέταλλο από μέσα. Η επισκευή μπορεί να είναι δύσκολη και δαπανηρή, και συχνά περιλαμβάνει την αντικατάσταση ολόκληρων τμημάτων ή απαιτεί κατασκευή νέων εξαρτημάτων. Μεγάλο μέρος του προβλήματος προκαλείται από σκόνη στο δρόμο.

- **Κοσμητική Διάβρωση**

Η κοσμητική διάβρωση ξεκινά από σημεία εξωτερικής ζημιάς στο σύστημα βαφής, η οποία τοπικά φέρνει στην επιφάνεια το ατσάλινο υπόστρωμα. Όταν το γυμνό μέταλλο εκτίθεται στο περιβάλλον, η κύρια ανησυχία είναι η κακή εμφάνιση εξαιτίας των προϊόντων διάβρωσης, ιδιαίτερα της κόκκινης σκουριάς και των λεκέδων και η πλευρική εξάπλωση ζημιάς στη βαφή που είναι αποτέλεσμα τομών και φουσκάλων.

- **Διάβρωση Καυκάλων**

Η διάβρωση καυκάλων είναι ένας όρος που εφαρμόζεται στην κοσμητική διάβρωση όταν αυτή συμβαίνει σε εξωτερικές ενώσεις και σχισμές οι οποίες αιχμαλωτίζουν υγρασία, βρομιά και άλατα. Τυπικές θέσεις για αυτό το είδος διάβρωσης είναι οι περιοχές επαφής ανάμεσα στα καλούπια παραθύρων και στα πάνελ κουκούλων ή σχήματος τουλίπας. Η διάβρωση καυκάλων δεν είναι απαραίτητα μια γαλβανική αντίδραση (που προκαλείται από ανομοιογενή μέταλλα) όπως συμβαίνει συχνά στις ενώσεις παρόμοιων μετάλλων. Η διάβρωση καυκάλων ελαχιστοποιείται με τη χρήση ατσάλινων φύλλων με επίστρωση ψευδαργύρου ή κράματος ψευδαργύρου στις εξωτερικές επιφάνειες.

Η εφαρμογή μιας μεταλλικής επίστρωσης και στις δύο πλευρές ενός φύλλου χάλυβα για αμαξώματα είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για την καταπολέμηση της διάβρωσης.

Γενικά σημαντικό ρόλο στην προστασία από τη διάβρωση στα αυτοκίνητα παίζει η κατασκευή το πώς δηλαδή συναρμολογούνται τα διάφορα τμήματα μεταξύ τους έτσι

ώστε να αποφεύγονται οι επικαθίσεις σκόνης, υγρασίας κλπ . Επίσης να αποφεύγεται η επαφή μετάλλων που το ένα είναι ασθενέστερο του άλλου. Τέλος οι επιστρώσεις που χρησιμοποιούνται παίζουν και αυτές σημαντικό ρόλο στην προστασία των αμαξωμάτων.

Η αυτοκινητοβιομηχανία της Volvo ασχολείται πάρα πολύ με το θέμα της διάβρωσης κάνοντας πολλές δοκιμές της αντοχής των μεταλλικών τμημάτων από τη διάβρωση αφήνοντας εκτεθειμένα στο περιβάλλον διάφορα μέλη του αμαξώματος για μεγάλο χρονικό διάστημα παρόλο που αυτή η μέθοδος είναι χρονοβόρα και έχει μεγάλο κόστος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Kanniah, M., 2003, *Corrosion Study on Steel Sheets for Car Bodies*. B.Eng. (Mech.- Materials) Thesis, Universiti Teknologi Malaysia.
2. Shreir, L.L, Jarman, R.A., Burstein, G.T., (1994), *Corrosion Volume 1 (Metal/Environment Reactions)*, 3<sup>rd</sup> edition; Butterworth Heinemann.
3. General Motors Milford Proving Grounds, "*Vehicle Corrosion Environment Canada and the United States*", Internal Document, October 1990.
4. Hospadaruk, V., "*Corrosion Fundamental and Their Application to Automobiles*", Automotive Corrosion by Deicing Salts, R. Baboian, NACE, Houston 1981.
5. Dorsett, T. E., Development of a Composite Coating for Pre-Coated Automotive Sheet Metal, SAE Paper 862027, December 1986
6. Preparing Steel for Organic Coatings, Products Finishing Directory, 1989.
7. Θ. Σκουλικίδη – Π. Βασιλείου, «*Διάβρωση και Προστασία Υλικών*», εκδ. Συμμεών, Αθήνα 2000.
8. Kanniah, M., 2003, *Corrosion Study on Steel Sheets for Car Bodies*. B.Eng. (Mech.-Materials) Thesis, Universiti Teknologi Malaysia.
9. ASTM Standard, *Standard Test Method for Corrosion Resistance of Coated Steel Specimens (Cyclic Method)*; Designation ASTM D 2933-74.
10. Shreir, L.L, Jarman, R.A., Burstein, G.T., (1994), *Corrosion Volume 1 (Metal/Environment Reactions)*, 3<sup>rd</sup> edition; Butterworth Heinemann.
11. Jones, N., *Structural Impact*, Cambridge University Press, 1989.
12. Δ.Κ.Υφαντής, «*Υλικά Διάβρωσης και Προστασία*», εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
13. David and Susan Frisch, «*Metal, design and fabrication*», εκδόσεις Whitney library of design, New York 1998.