



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ ΣΤΟΥΣ
ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΥΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΥΣ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΡΙΑΝΤΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΥΜΠΕΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2006

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την παρουσία του επιβλέποντος καθηγητή κ. Λυμπέρη Κωνσταντίνου, τον οποίο θερμά ευχαριστώ για την πολύτιμη καθοδήγηση και συμπαράστασή του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον καθηγητή κ. Γ.Κανελλαΐδη για τις πολύτιμες υποδείξεις του, βοηθώντας έτσι σημαντικά στην τελική διαμόρφωση της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Υπηρεσία Σιδηροδρομικής Επιδομής της Αττικό Μετρό για την παροχή χρήσιμων πληροφοριών που αναφέρονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: «Τεχνική Περιγραφή της Σιδηροτροχιάς στους Αμερικάνικους Σιδηροδρόμους».

Όνομα: Τριάντη Μαρία.

Επόπτης: Λυμπέρης Κωνσταντίνος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

2006

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια, όσο το δυνατόν, πιο εμπεριστατωμένη τεχνική περιγραφή της σιδηροτροχιάς, η οποία εξετάζεται στους Αμερικάνικους Σιδηροδρόμους. Για το λόγο αυτό έχουν συγκεντρωθεί και καταγραφεί σημαντικά στοιχεία της βιβλιογραφίας που αφορά στη σιδηροτροχιά. Πιο ειδικά τα στοιχεία αυτά αναφέρονται στην χημική σύσταση, κατεργασία και αρχές σχεδιασμού της σιδηροτροχιάς, ακολουθούν πληροφορίες σχετικά με τις δυνάμεις που δέχεται η σιδηροτροχιά, τις τάσεις που αναπτύσσονται, τους μηχανισμούς ανάπτυξης αστοχιών, καθώς και λεπτομερής περιγραφή των αστοχιών αυτών και κατάταξή τους με βάση τον κώδικα UIC. Τέλος δίνονται κάποια στοιχεία για την διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς, το στρώσιμό της και την συντήρησή της, ενώ καταγράφονται οι αναφορές του μηχανισμού θραύσης γύρω από την ανάπτυξη και τον καθορισμό του κρίσιμου μεγέθους των ρωγμών στη σιδηροτροχιά.

ABSTRACT

Title: "Technical Description of the Rail at the American Railroads".

Name: Trianti Maria.

Supervisor: Liberis Konstantinos, Lecturer of N.T.U.A.

2006

The purpose of the present dissertation is to give a detailed technical description of the rail, which is concerned in the American Railroads. Therefore significant data, taken from bibliography, have been collected and registered. These data are related to chemical composition and manufacture of the rail, rail design, the forces which act on the rail, and the developed stresses. Additionally there are classified, according with the UIC Code, and described, with every detail, the rail failures and defects. There is also made a reference to the rail installation and maintenance, and at the rail use and life. There are also given some information for crack sizes which result in removal of the rail.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια, όσο το δυνατόν, πλήρης τεχνική περιγραφή της σιδηροτροχιάς. Για το σκοπό αυτό έχουν συγκεντρωθεί πληροφορίες από την βιβλιογραφία οι οποίες αφορούν σφαιρικά το αντικείμενο της σιδηροτροχιάς. Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε αναφέρεται στη σιδηροτροχιά στους Αμερικάνικους Σιδηροδρόμους. Το γεγονός ότι η σιδηροτροχιά αποτελεί σημαντικό στοιχείο της σιδηροδρομικής επιδομής και το ότι η κατάστασή της καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου είχε σαν αποτέλεσμα να καταγραφούν στοιχεία που έχουν να κάνουν τόσο με ζητήματα παραγωγής της σιδηροτροχιάς όσο και με τις δυνάμεις που δέχεται η σιδηροτροχιά, τις αστοχίες που προκαλούνται σ' αυτή, αλλά και με θέματα συντήρησης και διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς.

Για την ορθή περιγραφή της σιδηροτροχιάς είναι απαραίτητη η αναφορά στην χημική της σύσταση, στους τρόπους παρασκευής της, αλλά και σε ποιές αρχές σχεδιασμού πρέπει να εναρμονίζεται η διατομή μιας ολοκληρωμένης σιδηροτροχιάς. Έτσι, ανάλογα και με την χρήση της κάθε σιδηροτροχιάς, εξετάζονται ζητήματα που έχουν σχέση με το βάρος, το ύψος, τη διαμόρφωση της κεφαλής, του πέλματος και του κορμού της σιδηροτροχιάς καθώς και την αντοχή της σε κάμψη.

Το σημείο το οποίο ενδιαφέρει κυρίως, για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου, είναι ο τρόπος με τον οποίο αστοχεί μια σιδηροτροχιά. Η σιδηροτροχιά δέχεται δυνάμεις τόσο από την κύλιση των συρμών πάνω σ' αυτή όσο και από θερμοκρασιακές μεταβολές. Ως εκ τούτου αναπτύσσονται τάσεις διάτμησης, επαφής, καμπτικές, παραμένοντες και θερμικές. Οι τάσεις αυτές οδηγούν σε κόπωση του μετάλλου της σιδηροτροχιάς, γεγονός, που μαζί με τις κατασκευαστικές ατέλειες και την πλημμελή τοποθέτηση και χρήση της σιδηροτροχιάς, αποτελεί την αιτία εμφάνισης ατελειών στη σιδηροτροχιά. Ειδικότερα δε εξετάζεται το πρόβλημα της κόπωσης εξ επαφής λόγω κύλισης (Rolling Contact Fatigue – RCF). Όλα τα παραπάνω καταγράφονται λεπτομερώς στην παρούσα διπλωματική εργασία έτσι ώστε να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί με τους οποίους εξελίσσονται οι αστοχίες στη σιδηροτροχιά.

Οι αστοχίες της σιδηροτροχιάς έχουν ταξινομηθεί από την Διεθνή Ένωση Σιδηροδρόμων (International Union of Railways) και έχει προκύψει έτσι ο κατάλογος αστοχιών σιδηροτροχιάς UIC Handbook of Rail Defects 712R ο οποίος χρησιμοποιείται από τους περισσότερους σιδηροδρομικούς φορείς. Στον κατάλογο αυτό η κάθε αστοχία χαρακτηρίζεται από ένα 4ψήφιο κωδικό ο οποίος μας δίνει πληροφορίες για τη θέση της αστοχίας στην σιδηροτροχιά (άκρο σιδηροτροχιάς, μακριά από τα άκρα), την ακριβή θέση στη σιδηροτροχιά που δημιουργήθηκε η αστοχία, σε περιπτώσεις αστοχιών κόλλησης τη μέθοδο κόλλησης, τη φύση και το αίτιο της αστοχίας. Οι αστοχίες λοιπόν της

σιδηροτροχιάς, όπως αυτές έχουν χαρακτηριστεί με βάση τον κατάλογο UIC καταγράφονται στην παρούσα εργασία. Τα στοιχεία που δίνονται για την κάθε αστοχία συνοδεύονται και από τις αντίστοιχες εικόνες που απεικονίζουν την συγκεκριμένη αστοχία καθώς και από πληροφορίες σχετικά με τα μέσα ανίχνευσής της και τις προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσής της. Όλα τα παραπάνω κρίνονται αναγκαία για την σφαιρική παράθεση του φαινομένου των αστοχιών, κάτι το οποίο θα βοηθήσει στην παραπέρα κατάστρωση του προγράμματος εργασιών συντήρησης της γραμμής.

Από την άλλη σημαντικό ρόλο, στη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς στη γραμμή, παίζει και η σωστή χρήση και τοποθέτησή της. Για το λόγο αυτό αναφέρονται στοιχεία που αφορούν τις εργασίες εγκατάστασης της σιδηροτροχιάς, όπως επίσης το πώς επιλέγεται μια σιδηροτροχιά ανάλογα με τη χρήση της. Συμπληρωματικά περιγράφονται δύο μαθηματικοί τρόποι υπολογισμού της διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς, αλλά και ποιες εργασίες συντήρησης επιτελούνται για την αντιμετώπιση των διαφόρων προβλημάτων στη σιδηροτροχιά.

Τέλος παρατίθενται κάποια εμπειρικά δεδομένα που αποκτώνται από την λειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου και τα οποία αφορούν το σχήμα και το μέγεθος μιας, επικίνδυνης για τη λειτουργία του δικτύου, ρωγμής (κρίσιμη ρωγή) καθώς και το ρυθμό ανάπτυξής της. Ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας της κάθε ρωγμής, ο οποίος εκτιμάται με βάση παράγοντες που αναφέρονται και αυτοί, διαμορφώνεται ένας πίνακας ταξινόμησής τους. Τα προαναφερόμενα εμπειρικά δεδομένα εξετάζονται μαζί με τις αναλύσεις του μηχανισμού θραύσης της εκάστοτε σιδηροτροχιάς για τον προσδιορισμό των οριακών τιμών των αστοχιών της σιδηροτροχιάς. Η γνώση του επιτρεπόμενου μεγέθους των αστοχιών πρακτικά θα βοηθήσει στη διεξαγωγή του περιοδικού μη καταστροφικού ελέγχου της σιδηροτροχιάς, ο οποίος αυξάνει τη λειτουργική ασφάλεια των σιδηροδρομικών δικτύων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Στόχος της Διπλωματικής	1
1.3. Δομή της Εργασίας	2
2. ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ: ΙΣΤΟΡΙΑ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	4
2.1. Ιστορική Αναδρομή.....	4
2.2. Χημική Σύνθεση και Κατεργασία	6
2.2.1. Χημική Σύνθεση	6
2.2.2. Παραγωγή της Σιδηροτροχιάς	6
2.2.3. Έλεγχοι Αποδοχής	11
2.2.4. Κατάταξη	12
2.3. Σχεδιασμός της Σιδηροτροχιάς	13
2.3.1. Αρχικοί Σχεδιασμοί και Εξέλιξη	13
2.3.2. Αρχές που διέπουν το Σχεδιασμό της Σιδηροτροχιάς	14
2.3.2.1. Σχεδιασμός έναντι Κάμψης	16
2.3.2.2. Ζητήματα Βιομηχανικής Παραγωγής	18
2.3.2.3. Βάρος Σιδηροτροχιάς	18
2.3.2.4. Ύψος Σιδηροτροχιάς	19
2.3.2.5. Διαμόρφωση της Κεφαλής της Σιδηροτροχιάς	19
2.3.2.6. Κορμός και οι Καμπύλες του	20
2.3.2.7. Πλάτος Πέλματος	20
3. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ Η ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ, ΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ, ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥΣ.....	22
3.1. Δυνάμεις στη Σιδηροτροχιά	22
3.2. Τάσεις που αναπτύσσονται στις Σιδηροτροχιές	23
3.2.1. Υπολογισμός της Τάσεως Επαφής	25
3.2.2. Ατέλειες που οφείλονται σε Τάσεις Επαφής	27
3.3. Κόπωση Μετάλλου	29
3.4. Κόπωση εξ Επαφής σε Κύλιση (Rolling Contact Fatigue)	33
3.4.1. Αντιμετώπιση προβλημάτων RCF	39
3.5. Ανίχνευση Ατελειών	41
4. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ: ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ UIC	46
4.1. Αστοχίες Σιδηροτροχιών	46
4.2. Κατάταξη Αστοχιών κατά UIC	47
4.2.1. Προσδιορισμός των Αστοχιών της Σιδηροτροχιάς	50

4.2.2. Προσδιορισμός των προτεινόμενων Ενεργειών Επιδιόρθωσης	50
4.2.3. Προσδιορισμός της Θέσης των Αστοχιών	51
4.2.4. Ταξινόμηση και Αρίθμηση των Αστοχιών Σιδηροτροχιάς	52
4.2.4.1. Αστοχίες στα Άκρα των Σιδηροτροχιών	54
4.2.4.2. Αστοχίες μακριά από τα Άκρα των Σιδηροτροχιών	62
4.2.4.3. Αστοχίες που οφείλονται σε Φθορά της Σιδηροτροχιάς	93
4.2.4.4. Αστοχίες Κόλλησης και Επαναφοράς Επιφανείας	97
5. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ	108
5.1. Επιλογή και Κατανομή της Σιδηροτροχιάς	108
5.2. Διάρκεια Ζωής της Σιδηροτροχιάς	113
5.2.1. Παράγοντες Φθοράς της Σιδηροτροχιάς	115
5.2.2. Υπολογισμός της Διάρκειας Ζωής της Σιδηροτροχιάς	118
5.2.3. Άλλες Διαδικασίες Υπολογισμού της Διάρκειας Ζωής της Σιδηροτροχιάς	120
5.3. Εγκατάσταση της Σιδηροτροχιάς	121
5.3.1. Καινούρια Γραμμή	122
5.3.2. Προετοιμασία	112
5.3.3. Διαδικασία Εγκατάστασης	123
5.4. Συντήρηση της Σιδηροτροχιάς	126
5.4.1. Παραμόρφωση στο Άκρο της Σιδηροτροχιάς	126
5.4.2. Συντήρηση της Συναρμογής	126
5.4.3. Καμένη και Αυλακωμένη, από τους Τροχούς των Συρμών, Σιδηροτροχιά.....	127
5.4.4. Διάβρωση	127
5.4.5. Αγκύρωση της Σιδηροτροχιάς	127
5.4.6. Λιπαντήρες Καμπύλης	128
6. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΙΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ	130
6.1. Γενικά	130
6.2. Μηχανισμοί και Σύμβολα του Μηχανισμού Θραύσης	130
6.3. Εμπειρικά Δεδομένα Ρωγμών και Θραύσεων σε Σιδηροτροχιές και κολλήσεις	132
6.3.1. Σχήματα και Μεγέθη των κρίσιμων Ρωγμών	132
6.3.2. Ανάπτυξη Ρωγμών	135
6.3.3. Λειτουργικοί Κίνδυνοι που οφείλονται σε Θραύσεις Σιδηροτροχιάς	136
6.4. Μελέτες του Μηχανισμού Θραύσεως	137
6.4.1. Ανάλυση του Μηχανισμού Θραύσεως των Μη Σταθερά Διαδιδόμενων Ρωγμών στις Σιδηροτροχιές και στις Θερμοκολλήσεις	137

6.4.2. Ανάλυση του Μηχανισμού Θραύσεως των Σταθερά Διαδιδόμενων Ρωγμών στις Κολλήσεις των Σιδηροτροχιών	139
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	141
7.1. Σύνοψη Διπλωματικής Εργασίας	141
7.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	145

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Διανύουμε μια εποχή ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης, παράλληλα με την εξάπλωση του διεθνούς εμπορίου, την ευρεία μετακίνηση ατόμων και την ελεύθερη μεταφορά αγαθών. Τα παραπάνω στοιχεία συνθέτουν την γενικότερη κοινωνικοοικονομική εξέλιξη του σύγχρονου πολιτισμού. Κυρίαρχο ρόλο σε αυτό το πλαίσιο της συνεχούς προόδου κατέχουν οι μεταφορές, για τις οποίες το βασικό μέσο επίτευξής τους αποτελούν οι μεταφορικές υποδομές. Ένα μεγάλο κομμάτι των μεταφορικών υποδομών καταλαμβάνουν τα σιδηροδρομικά δίκτυα, τα οποία συνιστούν έναν καθοριστικό παράγοντα για την ολική ανάπτυξη μιας κοινωνίας.

Εντούτοις ο σύγχρονος ρυθμός εξέλιξης, σε όλα τα επίπεδα που συνθέτουν το σημερινό κόσμο, έχει σαν αποτέλεσμα να γίνει επιτακτική η ανάγκη για όλο και πιο ασφαλείς και ταχείες μεταφορικές υποδομές κάτι που συνεπάγεται τον συνεχή εκσυγχρονισμό τους. Κατ' επέκταση η ανάγκη αυτή γεννάται και στις σιδηροδρομικές υποδομές, βασικού στοιχείου των μεταφορικών συστημάτων. Η παραπέρα αυτή εξέλιξη του σιδηροδρομικού δικτύου απαιτεί μια πλήρη γνώση των επιμέρους στοιχείων της επιδομής της σιδηροδρομικής γραμμής, η οποία αποτελεί τον κινητήριο μοχλό του σιδηροδρομικού δικτύου. Για να επιτευχθεί μια ταχύτερη και παράλληλα ασφαλέστερη σιδηροδρομική μεταφορά θα πρέπει ο σχεδιασμός της να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά των συνιστωσών της επιδομής της σιδηροδρομικής γραμμής.

Οι τρεις κύριες συνιστώσες της επιδομής είναι:

- η σιδηροτροχιά
- ο στρωτήρας
- η στρώση έρματος

Για τον σχεδιασμό επομένως ενός εξελιγμένου σιδηροδρομικού δικτύου η γνώση της σύνθεσης, της γεωμετρίας, των δυνάμεων που δέχονται και του μηχανισμού ανάπτυξης αυτών, των αστοχιών που προκαλούνται και των γενικότερων συνθηκών συντήρησης των συνιστωσών της επιδομής καθίσταται αναγκαία.

1.2. Στόχος της Διπλωματικής

Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι για μια περαιτέρω ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου θα πρέπει να μελετηθούν και να αναλυθούν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες γύρω από τα στοιχεία που συνιστούν την σιδηροδρομική επιδομή, ένα από τα οποία είναι και η σιδηροτροχιά. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκέντρωση της σημαντικότερης βιβλιογραφίας που αναφέρεται σε αυτή τη βασική συνιστώσα της σιδηροδρομικής επιδομής, και η ανάλυσή της. Οι

πληροφορίες αυτές αφορούν τη σιδηροτροχιά τόσο γενικά όσο και ειδικά σχετικά με το θέμα των αστοχιών της. Θα μπορούσε λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ως θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα δομείται η βάση δεδομένων ενός πληροφοριακού εργαλείου το οποίο απαιτείται για την λειτουργία ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Συντήρησης Σιδηροδρομικής Υποδομής. Μελετώντας τις πληροφορίες που παρέχονται από την παρούσα διπλωματική εργασία γίνονται κατανοητοί οι μηχανισμοί με τους οποίους εξελίσσονται οι αστοχίες στην σιδηροτροχιά και μπορεί να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα στοιχεία για την κατάσταση της σιδηροδρομικής υποδομής και από εκεί και έπειτα να καταστρωθεί ένα πληροφοριακό εργαλείο που θα συνδέει τις αστοχίες που εμφανίζονται στη σιδηροτροχιά με τις απαιτούμενες προς επιδιόρθωσή τους ,εργασίες, με δυνατότητα προσδιορισμού και του κόστους των αστοχιών.

1.3. Δομή της Εργασίας.

Η διάταξη των κεφαλαίων της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

- Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή σε θέματα που αναφέρονται στη σιδηροτροχιά και έπειτα αναλύεται διεξοδικά η χημική της σύσταση καθώς και οι διαδικασίες παραγωγής της. Αναφέρονται δε και οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στη σιδηροτροχιά για την εγγύηση της ποιότητάς της. Κατόπιν καταγράφονται οι αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό της σιδηροτροχιάς αφού έχει προηγηθεί μια σύντομη αναφορά των αρχικών σχεδιασμών και της εξέλιξής τους. Οι αρχές αυτές αναφέρονται στο βάρος, στο ύψος, στο πλάτος πέλματος, στο περίγραμμά της κεφαλής της σιδηροτροχιάς καθώς και στην προσπάθεια αποφυγής του φαινομένου της κάμψης στην σιδηροτροχιά.
- Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται οι δυνάμεις που επιδρούν στη σιδηροτροχιά οι τάσεις που αναπτύσσονται και οι μηχανισμοί ανάπτυξης των αστοχιών. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις τάσεις επαφής(πως υπολογίζονται, ποιες ατέλειες οφείλονται στην ύπαρξή τους).
- Στο κεφάλαιο 4, αφού αρχικά αναφερθεί από ποιο είδος ατελειών προέρχονται οι αστοχίες των σιδηροτροχιών, ποιες είναι και σε ποιες θέσεις εμφανίζονται πάνω στη σιδηροτροχιά καθώς και ποιες είναι οι προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσής τους, γίνεται η κατάταξή τους κατά UIC και παράλληλα περιγράφονται αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά της καθεμιάς.
- Στο κεφάλαιο 5 καταγράφεται το πως γίνεται η επιλογή της σιδηροτροχιάς ανάλογα με τη χρήση της, με ποιες μεθόδους προσδιορίζεται η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς στη γραμμή καθώς και ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν. Έπειτα ακολουθούν οι κύριες λειτουργίες για την τοποθέτηση της σιδηροτροχιάς και τέλος οι εργασίες συντήρησης της.

- Στο κεφάλαιο 6 αναλύεται ο μηχανισμός θραύσης των μη σταθερά διαδιδόμενων ρωγμών, των σιδηροτροχιών και των συγκολλήσεων, καθώς επίσης και των σταθερά διαδιδόμενων ρωγμών των συγκολλήσεων. Οι αναλύσεις αυτές συνδυάζονται και με εμπειρικά δεδομένα από τη λειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου για πιο ασφαλή συμπεράσματα. Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν βοηθούν στον μη καταστρεπτικό έλεγχο των σιδηροτροχιών στη γραμμή.
- Στο κεφάλαιο 7 καταγράφονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα και προτείνονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για τα διάφορα μεγέθη στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορούν το Αμερικανικό Μετρικό Σύστημα. Για το λόγο αυτό παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με την αντιστοιχία τους με τις μονάδες του Διεθνούς Μετρικού Συστήματος (SI) [1].

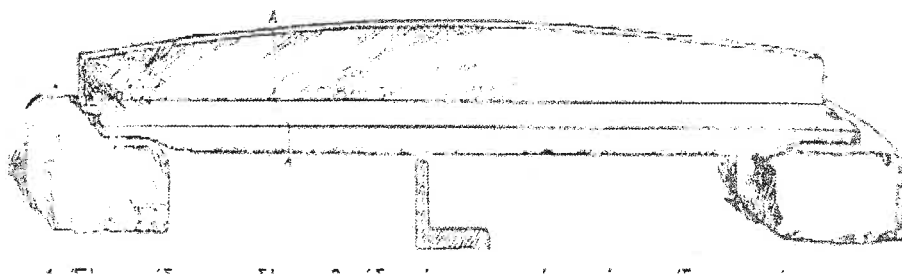
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ		
ΜΟΝΑΔΕΣ SI	ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΥ ΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ
m(μέτρο)	ft (πόδια)	1 ft = 0.3048 m
	yard (γυάρδα)	1 yd = 0.9144m
	inch (ίντσα)	1 in.= 2.54 *10 ⁻² m
	mile (μίλι)	1 mi = 1.609 *10 ³ m
	mgt (εκατομμύρια αγγλικοί τόνοι)	1 mgt = 1016*10 ³ kg
m ² (τετρ.μέτρο)	in. ² (τετρ. ίντσα)	1 in. ² = 6.452 cm ²
Pa (N/m ²)	psi (lbf/in. ²)	1psi=7.031*10 ⁻² kp/cm ²
K (κέλβιν)	F ⁰ (βαθμοί Φαρενάιτ)	F ⁰ = 1.8(K- 273.5) +32
kg (χιλιόγραμμα)	lb (λίβρα)	1 lb = 0.4536 kg
M/sec.	mph (mi/h)	1 mph = 0.4470 m/sec.

2. ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ: ΙΣΤΟΡΙΑ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.

2.1. Ιστορική Αναδρομή.

Η πρώτη καταγραφή για χρήση τροχιάς ως μεταφορικής οδού λαμβάνει χώρα στην Αγγλία στα 1630 [1] όπου και είχε κατασκευαστεί ένας τροχιόδρομος για την μεταφορά των ορυκτών ενός ορυχείου κοντά στον ποταμό Tyne. Αρχικά οι τροχιές ήταν πέτρινες πλάκες ενώ αργότερα ως τροχιές χρησιμοποιήθηκαν ξύλινες δοκοί. Το 1740 οι ξύλινες τροχιές επενδύθηκαν με μεταλλικές πλάκες.

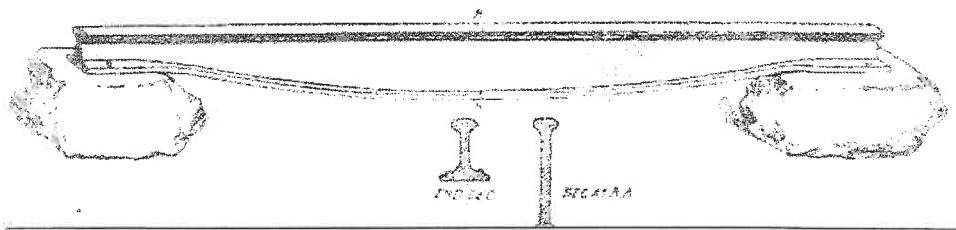
Ο πρώτος τροχιόδρομος με τροχιά εξ ολοκλήρου μεταλλική κατασκευάστηκε το 1776 [1] στην πόλη Sheffield της Αγγλίας. Η τροχιά ήταν κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο σε τμήματα μήκους τριών ποδιών σχήματος L τετραγωνικής διατομής (σχήμα 2.1). το μακρύτερο σκέλος αυτής εδράζονταν στην σιδηροδρομική κλίνη ενώ το βραχύ προεξείχε ώστε να παραλαμβάνει τον τροχό.



Σχήμα 2.1. η πρώτη μεταλλική σιδηροτροχιά, μήκους τριών ποδιών, τετράγωνης διατομής, κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο σε σχήμα L.

(Πηγή: "Manual for Railway Engineering", AREA, 1980-1981 revision).

Το 1789 κατασκευάστηκε τροχιόδρομος με σιδηροτροχιές διατομής ορθής γωνίας, πάνω στις οποίες κυλούσαν τροχοί με εσωτερικό νύχι μόνο (σχήμα 2.2). Ο κατασκευαστής της, Benjamin Curr, καθόρισε το «πλάτος γραμμής», δηλαδή την απόσταση, να είναι 5 πόδια, ώστε οι εσωτερικές παρειές των σιδηροτροχιών να έχουν απόσταση 4 πόδια και $8 \frac{1}{2}$ ίντσες [2], κάτι που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα.



Σχήμα 2.2. σιδηροτροχιά ορθογωνικής διατομής, κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο σε τμήματα μήκους 6 ποδιών.

(Πηγή: "Manual for Railway Engineering", AREA, 1980-1981 revision).

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο Benjamin Outram παρουσίασε μια σιδηροτροχιά με αρκετά χοντρή κεφαλή [2].

Το 1830 σχεδιάστηκε από τον αμερικανό Robert L. Stevens μια σιδηροτροχιά με φαρδύ πέλμα σχήματος διπλού ταν [3]. Η σιδηροτροχιά αυτή κατήργησε την ανάγκη για ακριβά στηρίγματα καθώς είχε τη δυνατότητα να καρφωθεί απευθείας με μεταλλικούς γάντζους, επίσης σχεδιασμένους από τον Stevens. Η παραπάνω σιδηροτροχιά εγκαταστάθηκε στη γραμμή Camden-Amboy. Το 1836 η σιδηροτροχιά του Stevens χρησιμοποιήθηκε από τον Henry Vignol στην Αγγλία και προωθήθηκε και στα υπόλοιπα ευρωπαϊκά σιδηροδρομικά δίκτυα με την ονομασία Vignol [3]. Η σιδηροτροχιά αυτή επικρατεί μέχρι σήμερα σε όλα τα σιδηροδρομικά δίκτυα της UIC (Union Internationale des Chemins de fer – Διεθνής Ένωση Σιδηροδρόμων) [4].

Η σημερινή σιδηροτροχιά έχει τη μορφή δοκού. Το ύψος της είναι συνήθως μεγαλύτερο από το μήκος του πέλματός της, ο κορμός είναι λεπτός, και η κεφαλή στενή. Οι σιδηροτροχιές προσδιορίζονται από το βάρος και τη διατομή τους. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το βάρος εκφράζεται σε λίβρες ανά γυάρδα. Σε χώρες όπου χρησιμοποιείται το μετρικό σύστημα, μονάδα μέτρησης είναι τα χιλιόγραμμα ανά μέτρο. Οι διατομές συνήθως προσδιορίζονται από το όνομα ή το αρχικό γράμμα του οργανισμού που τις σχεδιάζει. Έτσι η σιδηροτροχιά 115 RE έχει βάρος 115 λίβρες/ γυάρδα και έχει διατομή που συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές της AREA. Οι σιδηροτροχιές μπορεί επίσης να προσδιορίζονται από τη διαδικασία επεξεργασίας του χάλυβα (ανοικτή κάμιнос, μεταλλάκτης οξυγόνου, ηλεκτρική κάμιнос), από τη μεταλλουργία του χάλυβα (τυπικός ανθρακικός χάλυβας, υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, κράμα υψηλής αντοχής), ή από χαρακτηριστικά της επεξεργασίας (ψυχρή έλαση, θερμή έλαση). Το τυπικό μήκος της σιδηροτροχιάς στη βόρεια Αμερική είναι 39 πόδια. Η εξέλιξη των διαδικασιών παραγωγής επιτρέπει τη δημιουργία σιδηροτροχιών πολύ μεγαλύτερου μήκους, για παράδειγμα 82 πόδια. Οι συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές των 39 ποδιών εκτείνονται σε μήκη που ποικίλλουν από 1440 πόδια μέχρι μερικά μίλια.

2.2. Χημική Σύνθεση και Κατεργασία.

2.2.1. Σύνθεση.

Οι σιδηροτροχιές αποτελούνται από χάλυβα και το κύριο συστατικό στοιχείο του χάλυβα είναι ο σίδηρος. Με το σίδηρο αναμειγνύονται και μικρές ποσότητες άνθρακα, μαγγανίου, πυριτίου και λιγότερο επιθυμητά συστατικά στοιχεία, όπως θείο και φώσφορος. Καθένα από αυτά προσδίνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στο χάλυβα:

Άνθρακας	Αυξάνει τη σκληρότητα.
Μαγγάνιο	Δίνει δύναμη και αντοχή.
Πυρίτιο	Η μεγάλη του χημική συγγένεια με το οξυγόνο βοηθάει στην απομάκρυνση των αερίων κατά τις διαδικασίες καλούπωσης και έλασης.
Φώσφορος	Κάνει το χάλυβα εύθραυστο και με τάση να σπάσει υπό την επίδραση των δυνάμεων κρούσης.
Θείο	Προκαλεί θραύσεις κατά τη διαδικασία έλασης.

Ο χάλυβας της σιδηροτροχιάς πρέπει να έχει αντοχές στη φθορά, στην κόπωση και σε πλαστικές παραμορφώσεις. Πρέπει επίσης να έχει τη δυνατότητα να συγκολληθεί. Η ρύθμιση της αναλογίας των συστατικών στοιχείων για την παραγωγή του καλύτερου χάλυβα σιδηροτροχιάς (περλιτικής-φεριτικής δομής) έχει περάσει από μία εξελικτική διαδικασία. Οι χημικές προδιαγραφές της AREA δίνονται στον πίνακα 2-1. Στην υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο (HiSi) σιδηροτροχιά, ένα από τα πιο συνήθη κράματα, το συστατικό του πυριτίου μπορεί να κυμαίνεται από 0,5 έως και 1,00.

Ο τυπικός ανθρακικός χάλυβας σιδηροτροχιάς έχει σκληρότητα κατά Brinell 250-278 [4]. Οι υψηλής αντοχής χάλυβες μπορεί να έχουν μεγαλύτερες τιμές, 321-388 [4]. Το σημείο αντοχής του τυπικού χάλυβα σιδηροτροχιάς είναι περίπου 70.000 psi και ο συντελεστής ελαστικότητάς του λαμβάνεται ως $30 \cdot 10^6$ psi.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1. Χημικές συνθέσεις για χάλυβα σιδηροτροχιάς		
	Ποσοστό βάρους	
	Ονομαστικό βάρος (λίβρες/γυάρδα)	
	90-120	121 και πάνω
Άνθρακας	0.67-0.80	0.70-0.82
Μαγγάνιο	0.70-1.00	0.75-1.05
Φώσφορος, μέγιστο	0.035	0.035
Θείο, μέγιστο	0.040	0.040
Πυρίτιο	0.10-0.35	0.10-0.35

(Πηγή: “Manual for Railway Engineering”, AREA, 1980-1981 revision).

2.2.2. Παραγωγή της Σιδηροτροχιάς.

Ο χάλυβας των σιδηροτροχιών παρασκευάζεται με τις εξής μεθόδους [5]:

- Siemens – Martin: Ένα μείγμα από χυτοσίδηρο, μέταλλευμα σιδήρου και

ψήγματα μετάλλου τοποθετείται σε μία ρηχή κάμινο και εκτίθεται στην έντονη θερμότητα ενός πυροδοτούμενου, με κάποιο αέριο ή υγρό, φούρνου. Ο άνθρακας και προσμείξεις χυτοσιδήρου και μεταλλεύματος σιδήρου οξειδώνονται και σχηματίζουν ένα είδος σκουριάς που επιπλέει πάνω στο λιωμένο μέταλλο. Ακολουθεί εμφύσηση προθερμασμένου αέρα στην κάμινο με το καύσιμο, που οξειδώνει τη σκουριά και τις προσμείξεις του χυτοσιδήρου. Η σκουριά χρησιμεύει επίσης σαν «κουβέρτα» που εμποδίζει την οξείδωση του καθαρού μετάλλου. Ο φώσφορος οξειδώνεται αμέσως στη σκουριά, αλλά αν η σκουριά είναι όξινη χημικά, ο φώσφορος αναμιγνύεται με το μέταλλο καθώς η κάμινο σκεπάζεται. Πυρωμένος ασβεστόλιθος που προστίθεται στην κάμινο λιώνει τα στοιχεία της σκουριάς. Ο φώσφορος τότε παραμένει σε συνδυασμό με τη σκουριά, και λαμβάνεται ο βασικός χάλυβας ανοικτής-καμίνου απαλλαγμένος από τον φώσφορο.

- Ηλεκτρικής καμίνου: Μία κάμινο σε μορφή χύτρας γεμίζεται με ψήγματα σιδήρου και οξείδιο του ασβεστίου και θερμαίνεται ηλεκτρικά από ένα ηλεκτρικό τόξο. Μετά από 2-3 ώρες το λιωμένο μέταλλο διοχετεύεται σε μία κουτάλα και κράματα στοιχείων προστίθενται για την παραγωγή της επιθυμητής χημικής σύστασης.

- Linz- Donawitz (LD) ή βασικού οξυγόνου: Η μέθοδος αυτή χρίζει ευρείας αποδοχής από τους Αμερικανικούς και Καναδικούς σιδηροδρόμους και έχει εγκριθεί και από την AREA [6]. Ο χάλυβας είναι παρόμοιος με το βασικό προϊόν της ανοικτής καμίνου αλλά είναι πιο οικονομική η εργοστασιακή κατασκευή και παραγωγή του. Λιωμένος σε υψικάμινο χυτοσίδηρος και 25% ψήγματα σιδήρου, με οξείδιο του ασβεστίου και φθοριούχο ασβέστιο που προστίθενται για το σχηματισμό σκουριάς, ρίχνονται σε μία κατακόρυφη κάμινο βασικού οξυγόνου και το μίγμα εμποτίζεται και καθαρίζεται από ένα ακροφύσιο οξυγόνου υψηλής καθαρότητας. Ο χρόνος παραγωγής μειώνεται από περίπου 8 ώρες σε λίγο λιγότερο από 1 ώρα.

- Μία σύγχρονη διαδικασία η οποία προτείνει την έκθεση του λιωμένου μετάλλου σε κενό αέρα το οποίο απομακρύνει τα αέρια πριν αυτά παγιδευτούν στο μέταλλο που ψύχεται. Ο εξαερωμένος, με τη βοήθεια κενού αέρος, χάλυβας που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία μπορεί συνεπώς να παρακάμψει την ανάγκη ύπαρξης ελεγχόμενων δοχείων ψύξης, ως εκ τούτου διευκολύνει την έλαση σε μήκη μεγαλύτερα από 39 πόδια.

Ο χάλυβας σιδηροτροχιάς εξάγεται από την κάμινο μέσα σε μεγάλες κουτάλες και στη συνέχεια διοχετεύεται σε καλούπια που έχουν τη δυνατότητα να κρατούν 8-10 τόνους χάλυβα. Μετά από μία σύντομη περίοδο ψύξης από τα καλούπια εξάγονται τα πλινθώματα. Αυτά με τη σειρά τους τοποθετούνται σε λάκκους «εμποτισμού» ή φούρνους και διατηρούνται σε συνεχή θέρμανση μέχρι να επιτευχθεί μία ομοιόμορφη θερμοκρασία της τάξης 1500-2400° F. Οι κουτάλες ανοικτής εστίας κρατούν 50-150 τόνους χάλυβα και δίνουν 15-25 πλινθώματα ανά περίοδο θέρμανσης. Το κάθε πλινθώμα παράγει 2 με 3 τεμάχια χελώνης χάλυβα και το καθένα από αυτά παράγει 1 ως 3 σιδηροτροχιές 39

ποδιών.

Κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα στο πλίνθωμα παρατηρούνται ορισμένες μη επιθυμητές αντιδράσεις:

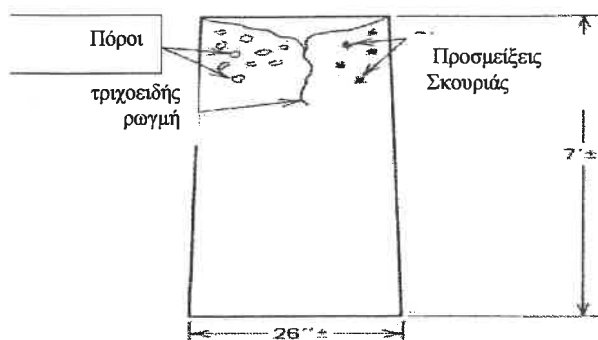
1. Το πλίνθωμα ψύχεται εξωτερικά και συστέλλεται. Η συστολή αυτή τείνει να τραβήξει χάλυβα από το κεντρικό τμήμα του πλινθώματος και να σχηματίσει στο πάνω τμήμα του μία κοιλότητα ή ένα είδος «τριχοειδούς» ρωγμής. Η τριχοειδής αυτή ρωγμή είναι μερικές φορές δύσκολο να εξαλειφθεί μέσω της διαδικασίας συγκόλλησης κατά την έλαση και οδηγεί στη δημιουργία διαμηκών «ρυτιδώσεων». Σ' αυτή την περίπτωση το 20-30% από την κορυφή του πλινθώματος αποκόβεται και ανατήκεται. Η αργή ψύξη του πλινθώματος τείνει να μειώσει τη δημιουργία τριχοειδών ρωγμών (σχ.2.3).

2. Καθώς οι προσμείξεις –άνθρακας, θείο, φώσφορος- συσσωρεύονται ή διαχωρίζονται με τη μορφή σκουριάς στο πάνω μέρος του πλινθώματος, η ποιότητα του χάλυβα σιδηροτροχιάς μπορεί να ποικίλει. Μερικές σιδηροτροχιές είναι πολύ σκληρές και άλλες, με ανεπαρκή περιεκτικότητα σε άνθρακα, πολύ μαλακές. Η γρήγορη ψύξη του πλινθώματος μειώνει αυτόν τον διαχωρισμό αλλά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυξάνει την τάση για δημιουργία τριχοειδών ρωγμών.

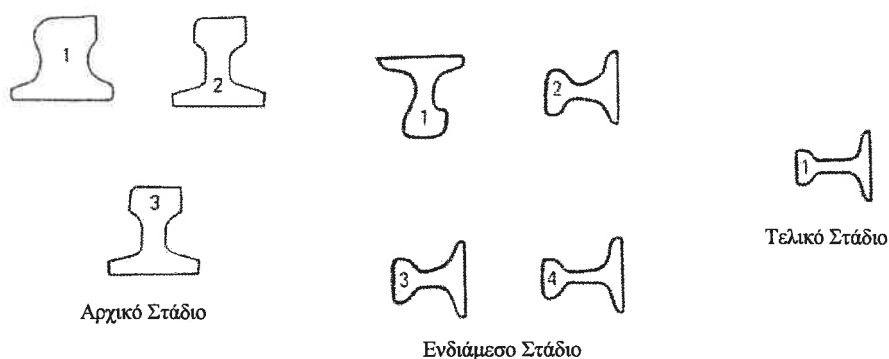
3. Η διαφυγή των αερίων κατά τη φάση στερεοποίησης μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία πόρων με τη μορφή μικροσκοπικών φυσαλίδων. Τα αέρια μπορούν να διαφύγουν με το να αφήσουμε την κουτάλα να «σταθεί» πριν την έκχυση ή προσθέτοντας αλουμίνιο στην κουτάλα ως μέσον ανακούφισης στον υγρό χάλυβα.

Το πλίνθωμα στη συνέχεια μεταβιβάζεται από τους λάκκους εμποτισμού στο έλαστρο μετατροπής χυτοσιδήρου σε κατεργάσιμο, όπου εκεί διέρχεται 6-25 φορές μέσα από αργά κινούμενους κυλίνδρους. Εκεί υπόκειται σε σημαντική μείωση του μεγέθους του, μέχρι εμβαδόν διατομής 8*8 ίντσες. Το προϊόν (χελώνη χάλυβα) στη συνέχεια κόβεται σε 2 ή 3 τμήματα, μερικές φορές αναθερμαίνεται, και διοχετεύεται στο έλαστρο σιδηροτροχιάς. Αν κατά τη διάρκεια της αναθέρμανσης η χελώνη χάλυβα υπερθερμανθεί και κατεργαστεί όταν είναι ακόμα πολύ θερμή, τότε μπορεί να παρουσιαστούν ατέλειες θερμικών σχισμών στο χάλυβα, που στη συνέχεια μπορεί να εξελιχθούν σε εγκάρσιες σχισμοειδείς αστοχίες. Μια διαδικασία κατεργασίας με τέσσερις έως έξι διελεύσεις υψηλών-ταχυτήτων ακολουθείται από 5 ή 6 διελεύσεις χαμηλών-ταχυτήτων μέσα στο έλαστρο τελικής επεξεργασίας. Μία ολοκληρωμένη σιδηροτροχιά θα έχει υποστεί 15- 40 διελεύσεις (κατά μέσο όρο 25),στη διάρκεια των οποίων η χελώνη του χάλυβα προσλαμβάνει μία σειρά μορφών που προσεγγίζουν την τελική σιδηροτροχιά αλλά είναι είτε πιο κοντόχοντρες είτε πιο λεπτές. Οι διαδικασίες έλασης, μορφοποίησης και τελικής μηχανουργικής κατεργασίας έχουν ως στόχο να συμπίεσουν τους κρυσταλλικούς κόκκους να κλείσουν τα κοιλώματα και να οδηγήσουν στη δημιουργία ενός χάλυβα με καλύτερη αντοχή και ολκιμότητα. Ο τελικός χάλυβας προκύπτει από πολλές διελεύσεις με συνεχή μείωση της διατομής ανά

διέλευση (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3. Ατέλειες του πλινθώματος.



Σχήμα 2.4. Τα στάδια μορφοποίησης της σιδηροτροχιάς προς την τελική μορφή της.
(Πηγή: "Manual for Railway Engineering", ARA, 1980-1981 revision).

Το έλαστρο τελικής επεξεργασίας εντυπώνει τη σφραγίδα στον κορμό. Στη μία πλευρά του κορμού εντυπώνονται το βάρος και η διατομή, ο τύπος του χάλυβα, το εργοστάσιο επεξεργασίας και ο κατασκευαστής, καθώς και ο χρόνος και ο μήνας παραγωγής. Μια σφραγίδα σύμφωνα με τις υιοθετούμενες από την ARA προδιαγραφές θα ήταν:

11225 RE OH ILLINOIS USA 1935 1111111

για μία σιδηροτροχιά βάρους 112 λιβρών/ γυνάρδα, σχεδιασμένη κατά ARA, με χάλυβα ανοικτής-εστίας και παρασκευασμένη τον Ιούλιο του 1935 από την Carnegie-Illinois Steel Company στο εργοστάσιό της στο Σικάγο. Άλλα εργοστάσια επεξεργασίας εντυπώνουν το όνομά τους στη θέση του Illinois.

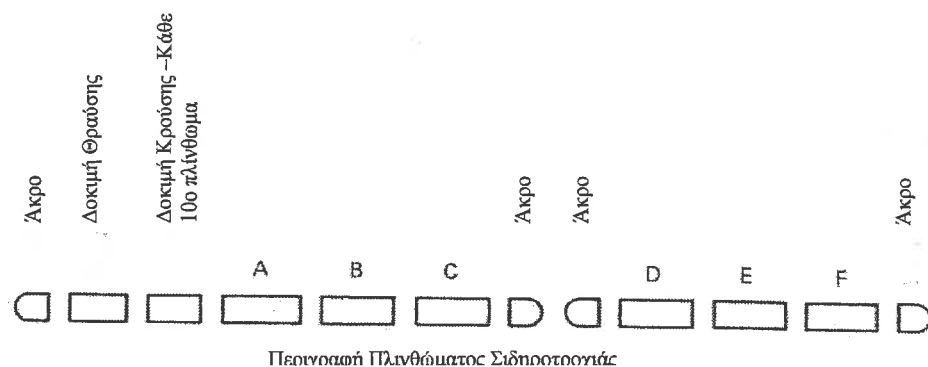
Στην άλλη πλευρά του κορμού βρίσκεται ο αριθμός της θέρμανσης, το γράμμα της σιδηροτροχιάς και ο αριθμός του πλινθώματος. Επίσης υποδεικνύεται κάθε ειδική διαδικασία κατεργασίας: CC για ψυχρή έλαση, CH για θερμή έλαση. Μία τυπική σφραγίδα θα ήταν:

24267 E 20

για μία σιδηροτροχιά από θέρμανση 24267, όπου 242 είναι ο αριθμός της καμίνου και 67 είναι η εξηκοστή έβδομη παρτίδα από αυτή την κάμινο. (Οι

παρτίδες αριθμούνται ξανά ανά περίοδο ενός χρόνου ή μισού χρόνου –ως εκ τούτου απαιτείται η ημερομηνία παραγωγής για την πλήρη ταυτοποίηση). Η σιδηροτροχιά που περιγράφεται προήλθε από το εικοστό πλίνθωμα και είναι η πέμπτη σιδηροτροχιά από την κορυφή του πλινθώματος. (Όταν το περισσότερο από το πλίνθωμα πρέπει να απορριφθεί λόγω της δημιουργίας τριχοειδών ρωγμών, μπορεί να μην υπάρχει Α, ή ακόμη ούτε και Β σιδηροτροχιά από το συγκεκριμένο πλίνθωμα). Αυτές οι σφραγίδες επιτρέπουν άμεση αναφορά σε μία συγκεκριμένη σιδηροτροχιά είτε σχετικά με την κατεργασία της είτε ως προς τη θέση της στη γραμμή με την προϋπόθεση ότι διατηρούνται επαρκή αρχεία επίστρωσης από το εκάστοτε σιδηροδρομικό δίκτυο.

Από το μηχανήμα τελικής επεξεργασίας η σιδηροτροχιά μεταβιβάζεται σε ένα καυτό πριόνι όπου κόβεται σε μήκη 39 ποδιών ή μεγαλύτερα (σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5. προσδιορισμοί των πλινθωμάτων της σιδηροτροχιάς.
(Πηγή: "Manual for Railway Engineering", AEA, 1980-1981 revision).

Σχεδόν όλες οι σιδηροτροχιές σήμερα ελέγχονται κατά τη διάρκεια της ψύξεώς τους για την αποφυγή της δημιουργίας θρυμματισμών και των επικίνδυνων εγκάρσιων ρωγμών που είναι πιθανόν να αναπτυχθούν. Οι θερμές σιδηροτροχιές τοποθετούνται σε ψυκτικά δοχεία όταν είναι σε θερμοκρασία 725-1000° F και μένουν εκεί για 7-10 ώρες. Καμία σιδηροτροχιά δεν απομακρύνεται μέχρι η θερμοκρασία της πάνω στρώσης να πέσει στους 300° F ή λιγότερο.

Μετά την ψύξη, οι σιδηροτροχιές ευθυγραμμίζονται με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων. Οι άκρες και οι κορυφές λειαίνονται για την εξάλειψη των ανωμαλιών που δημιουργούνται από το θερμό πριόνι, τα άκρα λαξεύονται και, όπου αυτό είναι απαραίτητο, διανοίγονται οπές για κοχλίες κατά μήκος του κορμού στις θέσεις των άκρων. Τελικά οι σιδηροτροχιές επιθεωρούνται, κατατάσσονται, και φορτώνονται για αποστολή. Εφ' όσον απαιτείται από τον αγοραστή, σκληρύνεται ο χάλυβας στα άκρα της σιδηροτροχιάς με βαφή ή επεξεργάζεται η σιδηροτροχιά θερμικά μετά τη διαδικασία ευθυγράμμισης και λοξότμησής της. Διάτρηση δεν πραγματοποιείται στις σιδηροτροχιές που προορίζονται για συνεχή συγκόλληση.

2.2.3. Έλεγχοι Αποδοχής.

Η AREA προτείνει μία σειρά ελέγχων της σιδηροτροχιάς για να εγγυηθεί στον αγοραστή την ποιότητα του προϊόντος και την εναρμόνισή του με τις προδιαγραφές [7]. Τα περισσότερα μεγάλα σιδηροδρομικά δίκτυα έχουν έναν ή περισσότερους επιθεωρητές στα εργοστάσια καταργασίας κατά τη διάρκεια της έλασης των σιδηροτροχιών τους. Χημικές αναλύσεις υποδεικνύουν τη σύνθεση του χάλυβα. Χρησιμοποιούνται επίσης πρότυπα για τον έλεγχο του περιγράμματος της σιδηροτροχιάς.

Οι δοκιμές που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:

- Δοκιμή κρούσης: Η αντοχή σε κρούση και η ολκιμότητα ελέγχεται με τη δοκιμή κρούσης. Με τον τρόπο αυτό επομένως εξαιρούνται οι εύθραυστες σιδηροτροχιές. Μία σφύρα βάρους 2000 λιβρών αφήνεται να πέσει πάνω σε ένα δείγμα σιδηροτροχιάς μήκους 4-6 ποδιών κομμένο από Α σιδηροτροχιές του δεύτερου, του μεσαίου και του τελευταίου πλήρους πλινθώματος της φουρνιάς. Το ύψος της πτώσης ποικίλει, ανάλογα με το βάρος της σιδηροτροχιάς, από 17 μέχρι 22 πόδια. Η αστοχία κάποιου δείγματος οδηγεί στην απόρριψη όλων των Α σιδηροτροχιών. Σε αυτή τη διαδικασία οι Β σιδηροτροχιές ελέγχονται με τον ίδιο τρόπο. Αν παρατηρηθούν αστοχίες στα Α, Β αλλά και Γ δείγματα, τότε απορρίπτεται ολόκληρη η φουρνιά. Η επιμήκυνση του δείγματος στη δοκιμή κρούσης μετριέται για τον προσδιορισμό του βαθμού ολκιμότητας.

- Δοκιμή κάμψης: Αρκετοί μηχανικοί προτείνουν τη δοκιμή κάμψης ως εναλλακτική λύση με περισσότερα πλεονεκτήματα από τη δοκιμή κρούσης. Ισχυρίζονται ότι δίνει ένα μέτρο αντοχής που δεν μπορεί να υπολογιστεί από τη δοκιμή κρούσης. Εντούτοις ο χρόνος που απαιτείται για τη διεξαγωγή των δοκιμών κάμψεως αποτελεί ένα πρακτικό πρόβλημα, καθώς οι σιδηροτροχιές κυλινδρώνονται σε διάστημα μικρότερο από το χρόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή των δοκιμών κάμψεως. Σε κάθε δείγμα από την πάνω άκρη της πάνω σιδηροτροχιάς της κάθε φουρνιάς, που έχει περάσει με επιτυχία τη δοκιμή κρούσης, πραγματοποιούνται δοκιμές θραύσης. Το δείγμα χαράσσεται και σπάζεται. Εάν στο σημείο του σπασίματος εμφανίζονται ρυτιδώσεις, αποκολλήσεις μικρών φύλλων, κοιλότητες, ή ξένες ουσίες, τότε τα προς δοκιμή δείγματα απορρίπτονται. Μία δεύτερη δοκιμή, και όπου είναι απαραίτητο μία τρίτη ή και τέταρτη δοκιμή πραγματοποιείται μέχρι ως ότου εξασφαλιστεί η επιθυμητή μεταλλική δομή. Το εναπομείναν τμήμα σιδηροτροχιάς που έχει υποστεί τους συγκεκριμένους ελέγχους μπορεί να γίνει αποδεκτό ως κοντή σιδηροτροχιά. Η σιδηροτροχιά πρέπει επίσης να είναι απαλλαγμένη από επιφανειακές αστοχίες, σχισμές, και άλλες ανωμαλίες.

Η μέγιστη αποδεκτή πλευρική απόκλιση εντός μήκους 3 ποδιών είναι 0,030 ίντσες. Στις σιδηροτροχιές 39 ποδιών επιτρέπεται μία διακύμανση του μήκους της τάξης των 7/16 ιντσών. Η ευθυγραμμία των άκρων δεν πρέπει να έχει μεγαλύτερη διακύμανση από 1/32 ίντσες για όλες τις σιδηροτροχιές εκτός από αυτές με βάρος 140 λίβρες και πάνω, στις οποίες επιτρέπεται μία διακύμανση

3/64 ιντσών.

2.2.4. Κατάταξη.

Οι σιδηροτροχιές κατηγοριοποιούνται στα εργοστάσια επεξεργασίας τους και σημαδεύονται αναλόγως με έναν αριθμό ποιότητας (σε δύο περιπτώσεις) και με το κατάλληλο χρώμα στα άκρα των σιδηροτροχιών [7]. Έτσι προκύπτουν οι εξής κατηγορίες:

Αρ. 1 Σιδηροτροχιές: Αυτές που εναρμονίζονται με όλες τις προδιαγραφές και είναι απαλλαγμένες από επιφανειακές ατέλειες. Τα άκρα είναι αχρωμάτιστα και σημαδεμένα με το σύμβολο 1. Αυτές οι σιδηροτροχιές είναι κατάλληλες για επίστρωση σε όλες τις κύριες γραμμές.

Αρ. 2 Σιδηροτροχιές: Αυτές που δεν είχαν σοβαρές επιφανειακές ατέλειες ή εκείνες οι οποίες είχαν, πριν την ευθυγράμμισή τους, έντονες στρεβλώσεις ή εκείνες οι οποίες δεν έχουν χαραχθεί θερμικά. Τα άκρα σημαδεύονται με το σύμβολο 2 και χρωματίζονται άσπρα. Αυτές οι σιδηροτροχιές πρέπει να τοποθετούνται σε ευθυγραμμία ή σε καμπύλες που δεν ξεπερνούν τις 3°, κατά προτίμηση σε γραμμές μεταφοράς εμπορευμάτων ή όπου η ταχύτητα κυκλοφορίας δεν ξεπερνά τα 50 μίλια/ ώρα και εκεί όπου μπορούν να γίνουν άμεσα επιθεωρήσεις για αστοχίες.

Σιδηροτροχιές υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα: Όλες οι σιδηροτροχιές με ποσότητα άνθρακα που αντιστοιχεί στις πρώτες πέντε τιμές του φάσματος των προδιαγραφών πρέπει να έχουν τα άκρα τους χρωματισμένα μπλε. Αυτές οι σιδηροτροχιές φυλάσσονται συνήθως για χρήση σε καμπύλες και μερικές φορές σε αλλαγές, σε επικίνδυνες θέσεις και σε σημεία όπου είναι δύσκολο να αντικατασταθούν όπως γέφυρες και σήραγγες. Αυτή η κατηγορία δε περιλαμβάνεται πια στο εγχειρίδιο της AREA.

“Α” Σιδηροτροχιές: Αυτές που προέρχονται από το “Α” κομμάτι του πλινθώματος όπου υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας τριχοειδών ρωγμών, διαχωρισμών ή πόρων. Τα άκρα χρωματίζονται κίτρινα. Οι “Α” σιδηροτροχιές συνήθως δεν τοποθετούνται σε επικίνδυνες θέσεις, όπως οι σήραγγες, οι γέφυρες και μήκος υψηλών αναχωμάτων. Δεν πρέπει επίσης να επιστρώνονται σε καμπύλες ή σε θέσεις όπου είναι δύσκολη η επιθεώρηση.

Κοντές σιδηροτροχιές: Οι σιδηροτροχιές *Αρ.1.* μήκους μικρότερου από 39 πόδια (αλλά όχι μικρότερου από 25 πόδια) πρέπει να είναι αμαρκάριστες με τα άκρα τους βαμμένα πράσινα.

X-Σιδηροτροχιές: Αυτή η κατηγορία αντιστοιχεί σε σιδηροτροχιές οι οποίες

αστοχούν στη δοκιμή θραύσης. Αυτές φυλάσσονται για χρήση σε θέσεις που έχει εγκριθεί η χρήση των σιδηροτροχιών Αρ.2., καθώς και σε γραμμές συνθέσεως συρμών, σε παρακαμπτήριες γραμμές και σε ασφαλείς, μικρής ταχύτητας κυκλοφορίας, θέσεις. Τα άκρα τους χρωματίζονται καφέ.

Σιδηροτροχιές υψηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο: Ορισμένα εργοστάσια παραγωγής χρωματίζουν τα άκρα αυτού του τύπου των σιδηροτροχιών ασημένια.

Θερμικά επεξεργασμένες σιδηροτροχιές: Ορισμένα εργοστάσια παραγωγής χρωματίζουν τα άκρα αυτού του τύπου των σιδηροτροχιών, πορτοκαλί.

2.3. Σχεδιασμός της Σιδηροτροχιάς.

Πριν το 1893 δεν υπήρχε καμία ομοιομορφία στους τρόπους σχεδιασμού των διατομών σιδηροτροχιάς. Παρασκευάζονταν περίπου 300 διαφορετικά είδη διατομών σιδηροτροχιάς με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση τόσο στα εργοστάσια παραγωγής όσο και στα σιδηροδρομικά δίκτυα.

2.3.1. Αρχικοί Σχεδιασμοί και Εξέλιξη.

Για να βάλει μία τάξη σε αυτή τη χαοτική κατάσταση, η Αμερικάνικη Ένωση Πολιτικών Μηχανικών-American Society of Civil Engineers (ASCE), μετά από εισήγηση της Διοικητικής Αρχής Σιδηροδρόμων, σχεδίασε ένα περιορισμένο εύρος διατομών σιδηροτροχιάς, από 40 ως 100 λίβρες, με βήμα αύξησης τις 5 λίβρες. Τα σχέδια παρουσιάστηκαν από την ASCE και έχρισαν ευρείας αποδοχής από τη βιομηχανία παραγωγής σιδηροτροχιών. Έγιναν γνωστές ως τετραγωνικές διατομές, γιατί το πλάτος του πέλματος ήταν ίσο με το ύψος για κάθε βάρος διατομής. Το πέλμα ήταν σχετικά λεπτό και οι ακτίνες της πάνω και κάτω καμπύλης του κορμού καθώς και η ακτίνα της καμπύλης στο πάνω μέρος της κεφαλής ήταν ίσες. Η διανομή του μετάλλου στο πέλμα, στον κορμό και στην κεφαλή ήταν 37, 21 και 42% αντίστοιχα.

Η εμπειρία με τις διατομές που καθόρισε η ASCE δεν ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική. Η χρονιά 1900 σημαδεύτηκε από την εκτεταμένη φθορά και θραύση σιδηροτροχιών. Οι ταχύτητες και τα φορτία ανά άξονα αυξάνονταν συνεχώς. Οι φλάντζες του πέλματος των διατομών της ASCE ήταν πολύ λεπτές για να κρατήσουν την κατάλληλη θερμότητα, όταν σε μία προσπάθεια να παρασκευάσουν καλύτερης ποιότητας χάλυβα, οι κατασκευαστές χρησιμοποίησαν χαμηλότερες θερμοκρασίες έλασης. Επιπροσθέτως, τα σχέδια της ASCE παρείχαν πάρα πολλά βάρη διατομών. Τότε διορίστηκε μία επιτροπή από την Αμερικάνικη Ένωση Σιδηροδρόμων- American Railway Association (ARA) για να συνεργαστεί με την ASCE ώστε να βελτιωθούν τα παρεχόμενα σχέδια. Η επιτροπή της ARA ανέπτυξε δύο σειρές διατομών, Α και Β, από 60

ως 100 λίβρες με βήμα 10 λιβρών, και παρουσίασε τα σχέδιά της στην ARA και στην AREA το 1908. Οι A διατομές ήταν σχεδιασμένες με λεπτή κεφαλή και μεγάλη ροπή αδράνειας για να προσδώσουν την απαιτούμενη δυσκαμψία στις γραμμές υψηλής ταχύτητας κυκλοφορίας. Οι B διατομές χαρακτηρίζονταν από μία στενή και κοντή κεφαλή που έδινε στη σιδηροτροχιά μεγαλύτερο χρόνο ζωής υπό συνθήκες υψηλών φορτίων κυκλοφορίας. Και οι δύο τύποι σιδηροτροχιάς χρησιμοποιούσαν πιο χοντρές φλάντζες πέλματος και μικρότερα πλάτη πέλματος από τις αντίστοιχες διατομές της ASCE.

Στη συνέχεια η ARA ανέθεσε την ευθύνη για το σχεδιασμό των σιδηροτροχιών στην AREA. Το 1915 η AREA δημοσίευσε την πρώτη από μία σειρά αναθεωρημένων διατομών γνωστών ως RE διατομές για τα βάρη των 100, 110, 120, 130, 140 και 150 λιβρών. Η διατομή A των 90 λιβρών της ARA ακολούθησε τις υπάρχουσες προδιαγραφές. Αργότερα οι διατομές των 112 και 131 λιβρών αντικατέστησαν τις αντίστοιχες των 110 και 130 λιβρών. Η διατομή των 150 λιβρών αποσύρθηκε και δεν αντικαταστάθηκε. Σε πιο πρόσφατες αναθεωρήσεις, αυτές του 1946, αντικαταστάθηκαν οι διατομές των 112 και 131 λιβρών με αναθεωρημένα σχέδια βάρους περίπου 115, 132 και 133 λιβρών / γυάρδα. Μία σειρά διατομών βάρους 106, 119 και 136 λιβρών αναπτύχθηκε από την Εταιρεία Σιδήρου και Καύσιμου Χάλυβα στο Κολοράντο και υιοθετήθηκε από την AREA.

Πολλά σιδηροδρομικά δίκτυα έχουν σχεδιάσει τις δικές τους διατομές, μερικές από τις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί και από άλλους σιδηροδρόμους. Η Πενσυλβάνια είχε μία σειρά PS διατομών -85, 100, 130 και 152 λίβρες/ γυάρδα. Οι διατομές των 130 και 152 λιβρών αντικαταστάθηκαν από τη PS διατομή των 140 λιβρών, που ήταν βασισμένη στις ίδιες γενικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες διαμορφώθηκαν οι RE διατομές. Έτσι λοιπόν υιοθετήθηκαν από την AREA. Το Κεντρικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο της Νέας Υόρκης χρησιμοποιούσε τις Dudley διατομές των 115 και 127 λιβρών (ακολουθώντας τις προδιαγραφές μίας διατομής 80 λιβρών που σχεδιάστηκε από τον P.H. Dudley το 1883), οι οποίες θεωρούνταν για πολύ καιρό ως ένα δείγμα αρτιότητας. Η πιο πρόσφατη διατομή είναι αυτή των 122 λιβρών που σχεδιάστηκε από το Σιδηροδρομικό Δίκτυο της Βαλτιμόρης και του Οχάιο.

2.3.2. Αρχές που διέπουν τον Σχεδιασμό της Σιδηροτροχιάς.

Το γενικό σχήμα της σιδηροτροχιάς διπλού ταυ ή Stevens προκύπτει από τη χρήση της, τον τρόπο στερεώσεώς της και από οικονομικούς λόγους. Πρέπει να υπάρχει μία κεφαλή ή επιφάνεια κύλισης που να προσαρμόζεται λίγο ή πολύ με το περίγραμμα του τροχού που κυλίνεται πάνω σ' αυτή. Πρέπει επίσης να υπάρχει ένα πέλμα με επαρκές εύρος για να προσδίνει στη σιδηροτροχιά σταθερή στήριξη στις συνδέσεις και με αρκετή φλάντζα ώστε να επιτρέπει το σφίξιμό της με κοχλίες ή άλλα μέσα στερεώσεως. Η κεφαλή με το πέλμα θα πρέπει να συνδέονται με επαρκές υλικό για να εξασφαλίζεται η αντοχή στα

επιβαλλόμενα φορτία και να παρέχεται αντίσταση σε κάμψη χωρίς να γίνεται σπατάλη υλικού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2. Διατομές Σιδηροτροχιών

TYPE	WT. PER YD.	U. S. STEEL CO.	88TH STEEL CO.	COLOR F. & I CO.	INLAND STEEL CO.	H	B	HD	W	D	F	S	A	A	S	L
A.R.A.-A.	100	10030	100-RA	1003*	10030*	5 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 4	2 1/2
"	90	9020	90-RA	902*	9020*	5 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	80	8020	80-RA	"	"	5 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
A.R.A.-B.	100	10030	100-RB	1002*	10030	5 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	3"	2 1/2
"	90	9030	90-RB*	905*	"	5 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	80	8030*	80-RB*	"	"	4 1/2	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
A.R.E.A.	140	14031	140-RE	"	"	7 1/2	4	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	18"-26" 10"	14"	4"	4
"	133	13331	133-RE	1330	1331	7 1/2	4	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 3	1 TO 4.01"	4"	3 1/2
"	132	13225	132-RE	1321	13225	7 1/2	4	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
"	131	13128	131-RE	1311	13128*	7 1/2	4	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	4 1/2
"	130	13025*	130-RE	1300*	13025*	6 3/4	4	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	3 1/2
"	115	11525	115-RE	1150	11525	6 3/4	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
"	112	11228	112-RE	1121	11228*	6 3/4	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	3 1/2
"	110	11025	110-RE*	1100	11025*	6 3/4	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	3 1/2
"	100	10025	100-RE	10025*	10025*	5	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	3 1/2
A.S.C.E.	100	10040	100-AS	10025*	10025*	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	STR.	2 1/2
"	90	9040	90-AS	"	9040	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	85	8540	85-AS	851*	8540	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	80	8040	80-AS	800*	8040	5	5	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	79	7940	75-AS	751*	"	4 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	70	7040	70-AS	701*	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	65	6540	65-AS	651*	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
"	60	6040	60-AS*	601*	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
A.T. & S.F.	90	9021*	90-SF*	9021*	9021*	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 4	2 1/2
CAN. PAC.	85	8524*	85-CP	8524*	8524*	5 1/2	5	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 4	2 1/2
C. & N.W.	100	10035	100-OM	10035*	10035*	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	3"	2 1/2
"	90	9035	90-OM*	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	3"	2 1/2
"	70	7050*	"	"	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"	14"	STR.	2 1/2
C. & O.	85	8543*	85-CS*	852*	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	3"	2 1/2
O. L. & W.	100	10033*	100-DL	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	3"	2 1/2
"	101	10133*	101-DL*	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
D. & R. G.	90	"	"	904*	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"	14"	4"	2 1/2
"	85	"	"	850*	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	STR.	2 1/2
GRT. NOR.	110	11036*	110-GN*	11036*	11036*	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 4	2 1/2
"	100	10036*	100-GN*	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	2 1/2
"	90	9024*	90-GN*	9024*	9024*	5 1/2	5	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	"	2 1/2
INTERB'GH	100	10005*	100-R1*	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	5"	2 1/2
"	90	9030*	90-R1*	"	"	5	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
LEHIGH VAL.	136	13633*	136-LVM	"	"	7	6 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	4"	3 1/2
"	110	11033*	110-LV*	"	"	6	6 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	4"	2 1/2
MO. PAC.	85	8550*	"	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	STR.	2 1/2
"	75	7550*	75-MP*	"	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	STR.	2 1/2
DUDLEY	127	12723	127-DYM	12723	12723	7	6 1/2	3	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 4	3 1/2
"	115	"	"	"	"	6 1/2	6 1/2	3	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	3 1/2
"	105	10524	105-DY	10524	10524	6	6 1/2	3	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	3 1/2
"	80	"	80-DY*	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
N. Y. M. H. & H.	107	10734*	107-NH	"	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	4"	2 1/2
"	100	10034*	100-NH*	"	"	6	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	"	"	"	2 1/2
PA.	155	15531	155-PS	"	"	8	6 1/2	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	18"-26" 10"	14"	4"	4 1/2
"	152	15222*	152-PS*	"	"	8	6 1/2	3	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	"	"	1 TO 40	5
"	130	13031	130-PS	13031*	13031*	6 3/4	5 1/2	3	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	STR.	3 1/2
"	100	10031	100-PS	10031*	10031*	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	15"	15"	1 TO 4	2 1/2
"	100	10033*	"	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	4"	2 1/2
P. & R.	100	10032*	100-RG	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	3 TO 4	2 1/2
SOO. LINE	85	8520*	"	"	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"-02"-11"	14"-02"-11"	3"-34"-35"	2 1/2
U. PAC.	80	8023*	"	901*	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	13"	13"	STR.	2 1/2
"	75	7524*	75-SP*	757*	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 4	2 1/2
MISC.	136	13637	"	1360	"	7 1/2	4	2 1/2	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
"	119	11937	"	1190	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
"	106	"	"	1060	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	2 1/2
"	80	8051*	"	"	"	4 1/2	4 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"-50"	14"-50"	1 TO 4	1 1/2
"	56	5651*	"	"	"	4 1/2	3 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"-50"	14"-50"	1 TO 4	1 1/2
HEAD FREE-SO. PAC.	132	"	"	1320	"	7 1/2	4	2 1/2	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	4 1/2
" R.E.	131	13127*	"	"	"	7 1/2	4	2 1/2	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	4 1/2
" P.S.	130	"	130-PS-1*	"	"	6 1/2	5 1/2	3	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	14"	14"	STR.	3 1/2
" R.E.	130	13027*	130-RE-1*	13027*	13027*	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
" SO. PAC.	113	"	"	1130	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
" R.E.	112	11227*	112-RE-1*	11227MF	11227MF	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
" R.E.	100	"	100-RE-1*	"	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
" R.A.	100	"	100-RA-1*	"	"	6 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
" R.A.	90	9027*	90-RA-1*	10-1013*	"	5 1/2	5 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	3 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2
T. R.	112	11229	"	1122	11229	7 1/2	4	2 1/2	2 1/2	2 1/2	4 1/2	1 1/2	1 TO 4	1 TO 4	1 TO 40	3 1/2

*NOT ROLLED AT PRESENT

(Πηγή: Railroad Products Division, American Brake Shoe Co).

Ο πίνακας 2-2-πίνακας διατομών σιδηροτροχιάς -υποδεικνύει τις κρίσιμες διαστάσεις της κάθε διατομής σιδηροτροχιάς. Ο πίνακας 2-3 περιλαμβάνει επιπρόσθετες πληροφορίες απαραίτητες για την επίλυση προβλημάτων διατμήσεως και κάμψεως κατά το σχεδιασμό της σιδηροτροχιάς και την εφαρμογή του.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3. Ιδιότητες Τυπικών Διατομών Σιδηροτροχιών

Διατομή ^α	Βάρος ανά Λίβρα	Ροπή Αδράνειας	Ουδέτερος Άξονας Πέλματος (ίν.)	Συντελεστής Βάσης Πέλμα (ίν.)	Επιφανειακά (τετρ.ίν)	Ύψος (ίν)	Πλάτος Πέλματος (ίν)	Πλάτος Κεφαλής (ίν)	Ακτίνα Κεφαλής (ίν)
133 RE	133.4	86.0	3.20	27.0	13.08	7 $\frac{1}{16}$	6	3	10
132 RE	132.1	88.2	3.20	27.6	12.95	7 $\frac{1}{8}$	6	3	10
131 RE	131.2	89.0	3.20	27.0	12.90	7 $\frac{1}{8}$	6	3	14
130 RE	130.0	77.4	3.03	25.5	12.71	6 $\frac{3}{4}$	6	2 $\frac{15}{16}$	14
120 RE ^b	120.9	67.6	2.92	23.1	11.85	6 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{7}{8}$	14
115 RE	114.7	65.6	2.98	22.0	11.25	6 $\frac{5}{8}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{23}{32}$	10
112 RE	112.3	65.5	3.00	21.8	11.01	6 $\frac{5}{8}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{23}{32}$	14
110 RE ^b	110.4	57.0	2.83	20.1	10.82	6 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{25}{32}$	14
100 RE	101.5	49.0	2.75	17.8	9.95	6	5 $\frac{3}{8}$	2 $\frac{11}{16}$	14
90 RA A	90.0	38.7	2.54	15.23	8.82	5 $\frac{5}{8}$	5 $\frac{1}{8}$	2 $\frac{9}{16}$	14
75 AS	75.2	23.0	2.36	10.0	7.38	4 $\frac{13}{16}$	4 $\frac{13}{16}$	2 $\frac{15}{32}$	12
106 CF&I	106.6	53.6	2.85	18.8	10.45	6 $\frac{3}{16}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{21}{32}$	14
119 CF&I	118.8	71.4	3.12	22.9	11.65	6 $\frac{13}{16}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{21}{32}$	14
136 CF&I	136.2	94.9	3.35	28.3	13.35	7 $\frac{5}{16}$	6	2 $\frac{15}{16}$	14
155 PS	155.0	129.0	3.38	36.7	15.20	8	6 $\frac{3}{4}$	3	—
152 PS	152.0	130.0	3.50	37.0	14.90	8	6 $\frac{3}{4}$	3	—
140 PS	140.6	97.0	3.37	29.0	13.80	7 $\frac{5}{16}$	6	3	10

^α RE σχέδιο της Αμερικανικού Οργανισμού Μηχανικών Σιδηροδρόμου, RA σχέδιο του Αμερικανικού Οργανισμού Σιδηροδρόμων, CF&I σχέδιο της εταιρείας Colorado Fuel & Iron Steel, PS σχέδιο του Σιδηροδρόμου της Πενσυλβάνια, AS σχέδιο της Αμερικανικής Ενώσεως Πολιτικών Μηχανικών

(Πηγή: “Manual for Railway Engineering”, AREA, 1980-1981 revision).

2.3.2.1. Σχεδιασμός έναντι Κάμψης.

Η σιδηροτροχιά αποτελεί ουσιαστικά μια διατομή χάλυβα που έχει υποστεί έλαση ή μία δοκό τροποποιημένη γεωμετρικά έτσι ώστε να έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά όπως αυτά προαναφέρθηκαν. Ως εκ τούτου, η ροπή αδράνειας και οι διαστάσεις της διατομής προσδιορίζουν τη βασική αντοχή της σιδηροτροχιάς σε κάμψη.

Η σιδηροτροχιά θεωρείται μία συνεχώς και ελαστικά υποστηριγμένη εύκαμπτη δοκός που υποχωρεί με την επιβολή των φορτίων, τα οποία κατανέμονται σε 9-11 στρωτήρες. Η μέγιστη υποχώρηση κάτω από ένα μεμονωμένο τροχό δίνεται από τη σχέση:

$$Y_o = -\frac{P}{(64EIu^3)^{1/4}} \quad (2.1)$$

όπου:

P = φορτίο τροχού (στατικό ή προσαρμοσμένο για δυναμική κρούση), εκφρασμένο σε λίβρες

u = μέτρο ελαστικότητας της γραμμής εκφρασμένο σε psi

$E =$ μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα της σιδηροτροχιάς $= 30 \cdot 10^6$
psi

$I =$ ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς εκφρασμένη σε in.⁴

Η μέγιστη ροπή κάμψης δίνεται από τη σχέση:

$$M_o = P \left(\frac{EI}{64u} \right)^{1/4} = 0.318 P x_1 \quad (2.2)$$

και η απόσταση του σημείου αυτού από το σημείο μηδενικής κάμψης δίνεται από τη σχέση:

$$x_1 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{4EI}{u} \right)^{1/4} \quad (2.3)$$

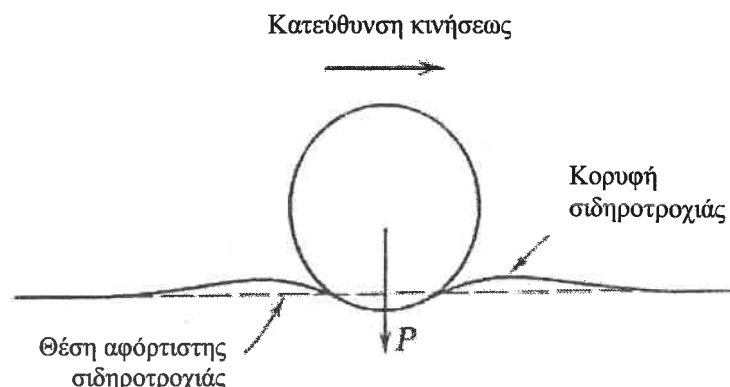
Γνωρίζοντας τη ροπή κάμψης, η μέγιστη τάση λόγω κάμψης μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$S = \frac{M_o c}{I} \quad (2.4)$$

όπου S είναι η τάση λόγω κάμψης σε pounds ανά τετραγωνική ίντσα, I είναι η ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς και c είναι η απόσταση σε ίντσες από τη βάση της σιδηροτροχιάς μέχρι τον ουδέτερο άξονα. Με την εισαγωγή παραγόντων ασφαλείας για τον συνυπολογισμό των θερμικών τάσεων, της πλευρικής κάμψης, της μη ομοιόμορφης υπερανύψωσης, της φθοράς στις καμπύλες και της τραχύτητας της τροχιάς, το θεωρητικό όριο διαρροής του χάλυβα της σιδηροτροχιάς μειώνεται από 70.000 psi στα 32.000 psi για αρθρωτές σιδηροτροχιές και στα 25.000 psi για τις συνεχώς συγκολλημένες σιδηροτροχιές.

Για δεδομένο τύπο σιδηροτροχιάς και φορτία λειτουργίας, το σημείο η ροπή κάμψης και το επιτρεπόμενο δυναμικό φορτίο ανά τροχό μπορεί να υπολογιστεί. Επίσης, για δεδομένο φορτίο ανά τροχό και μέτρο τραχύτητας της τροχιάς, η ροπή αδράνειας και ως εκ τούτου και ο απαιτούμενος τύπος σιδηροτροχιάς, μπορούν να υπολογιστούν. Μία τρίτη (αλλά λιγότερο πρακτική) εφαρμογή είναι η χρήση μίας δεδομένης σιδηροτροχιάς και των φορτίων λειτουργίας για τον υπολογισμό της τραχύτητας της τροχιάς.

Ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό της σιδηροτροχιάς είναι η ακαμψία η οποία θα μειώσει την παραμόρφωση της γραμμής, την αντίσταση στην εμπρόσθια κίνηση των τροχών, η οποία αυξάνει την αντίσταση στην κίνηση του συρμού, και τη φθορά των στρωτήρων και του έρματος κατά την κυματοειδή δράση ενός κινούμενου τροχού (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6. Κυματοειδής δράση σε σιδηροτροχιά υπό φόρτιση.

(Πηγή: “ *Stresses in the Rails, the Ballast and in the Formation Resulting from Traffic Loads*”).

2.3.2.2. Ζητήματα Βιομηχανικής Παραγωγής.

Ο σχεδιασμός των διατομών σιδηροτροχιάς της ARA ακολουθεί τις παρακάτω αρχές, οι οποίες καθορίστηκαν από την επιτροπή της ARA [8]:

1. Πρέπει να υπάρχει κατάλληλη κατανομή μετάλλου μεταξύ της κεφαλής και του πέλματος της σιδηροτροχιάς τέτοια ώστε να διασφαλίζεται ο καλύτερος έλεγχος της θερμοκρασίας κατά τη φάση παρασκευής της σιδηροτροχιάς.
2. Το ποσοστό μετάλλου στο πέλμα της σιδηροτροχιάς πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό στην κεφαλή, και οι απολήξεις των φλαντζών πρέπει να έχουν επαρκές πάχος έτσι ώστε η έλαση ολόκληρης της διατομής της σιδηροτροχιάς να πραγματοποιηθεί στην ίδια θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζονται οι εσωτερικές πιέσεις καθώς και η έκταση του φαινομένου της ψυχρής ελάσεως.
3. Οι διατομές πρέπει να έχουν τις κατάλληλες αναλογίες έτσι ώστε να παρέχουν την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακαμψία και αντοχή, για τη διασφάλιση της παροχής των καλύτερων υπηρεσιών.

2.3.2.3. Βάρος Σιδηροτροχιάς.

Σε δοκούς παρόμοιου σχήματος, η ροπή αδράνειας είναι ανάλογη με τη διατομή και μεταβάλλεται σε σχέση με το τετράγωνο του βάρους. Η αύξηση του βάρους συνεπάγεται την αύξηση της ροπής αδράνειας (ακαμψία). Η μεγαλύτερη ακαμψία μειώνει την παραμόρφωση της σιδηροτροχιάς, ενώ παράλληλα το μεγαλύτερο βάρος συνεισφέρει στη σταθερότητά της.

Μεταξύ των βαρών της σιδηροτροχιάς και των φορτίων ανά τροχό μπορεί να αναπτυχθεί μία προσεγγιστική σχέση, σύμφωνα με την οποία 10 λίβρες βάρους σιδηροτροχιάς ανά γυάρδα (με κανονική κλιμάκωση στρωτήρων) μπορούν να αντέξουν 3000 λίβρες συγκεντρωμένου φορτίου ανά τροχό. Ως εκ τούτου μία

σιδηροτροχιά 70 λιβρών αντέχει 21000 λίβρες συγκεντρωμένου φορτίου, μία σιδηροτροχιά 100 λιβρών, 30000 λίβρες, μία σιδηροτροχιά 115 λιβρών, 34500 λίβρες και μία σιδηροτροχιά 132 λιβρών, 39600 λίβρες.

2.3.2.4. Ύψος Σιδηροτροχιάς.

Αν και το αυξημένο βάρος είναι αποτελεσματικό στην παροχή μεγαλύτερης αντοχής και ακαμψίας, επιπλέον ακαμψία μπορεί να εξασφαλιστεί με την αύξηση του ύψους της σιδηροτροχιάς. Αφού η ροπή αδράνειας είναι ανάλογη με τον κύβο του ύψους, η οικονομία του μετάλλου οδηγεί στην αύξηση του ύψους της διατομής όσο το δυνατόν περισσότερο. Οι διατομές των 131, 132 και 136 λιβρών αποτελούν παραδείγματα σχεδιασμού μεγαλύτερης ακαμψίας, αφού προκύπτουν από τον επανασχεδιασμό της σιδηροτροχιάς των 130 λιβρών με μία ασήμαντη αύξηση του βάρους, αλλά με αυξημένο ύψος. Ένας περιοριστικός παράγοντας μπορεί να είναι η αναλογία μεταξύ του ύψους και του πάχους του κορμού, η οποία αν είναι πολύ μεγάλη μπορεί να προκαλέσει μία μορφή αστοχίας του κορμού λόγω πλευρικής κάμψης.

2.3.2.5. Διαμόρφωση της Κεφαλής της Σιδηροτροχιάς.

Οι τελευταίες σκέψεις στο αμφιλεγόμενο θέμα του περιγράμματος της κεφαλής προτείνουν τη διαμόρφωση της κεφαλής με τέτοιο τρόπο ώστε να έρχεται κοντά στο σχήμα των διερχόμενων τροχών. Οι επιφάνειες κύλισης στις καινούριες διατομές των 115, 132 και 136 λιβρών έχουν μειωθεί ελαφρώς σε πλάτος για τη μείωση της εκκεντρότητας της φόρτισης που μεταβιβάζεται από τον τροχό, η οποία συνεπάγεται τη μείωση των τοπικών πιέσεων στον κορμό και στην άνω και κάτω καμπύλη του. Η όσο το δυνατόν καλύτερη επαφή μεταξύ της κεφαλής της σιδηροτροχιάς και της περιμέτρου των τροχών, μπορεί να μειώσει τη δημιουργία αποφλοιώσεων και ρωγμών στην κεφαλή. Η νέα σιδηροτροχιά των 136 λιβρών έχει μεγαλύτερο πάχος κεφαλής ($1\frac{15}{16}$ ίντσες σε σχέση με τις $1\frac{3}{4}$ ίντσες) από τη σιδηροτροχιά των 132 λιβρών έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των σιδηροδρομικών δικτύων με μεγάλη πυκνότητα κυκλοφορίας. Η σιδηροτροχιά των 140 λιβρών με πάχος κεφαλής $2\frac{1}{16}$ ίντσες ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ιδιαίτερα έντονης και πυκνής κυκλοφορίας. Η ομαλότερη καμπυλότητα στις γωνίες κύλισης περιορίζει τις συγκεντρωμένες πιέσεις στα συγκεκριμένα σημεία και την τάση για πλαστική διαρροή και αποφλοιώση.

Η στενότητα της κεφαλής περιορίζεται από την ανάγκη για ύπαρξη επαρκούς μετάλλου για την αποφυγή της πλευρικής φθοράς στις καμπύλες και από την ακόλουθη αύξηση των πιέσεων φθοράς και των εσωτερικών τάσεων. Η στενή, κεφαλή παρασκευάζεται ευκολότερα και υπόκειται σε μικρότερο βαθμό στις πιέσεις ψύξης σε σχέση με μία κεφαλή μεγαλύτερου μεγέθους. Τα πλάτη της κεφαλής ποικίλουν από $2\frac{15}{16}$ ίντσες για τη σιδηροτροχιά των 136 λιβρών μέχρι

τις 3 ίντσες για τις διατομές των 132 και 140 λιβρών. Οι διατομές των 115 και 119 λιβρών που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις πιο ελαφριάς κυκλοφορίας είναι αναλογικά μικρότερες (βλέπε Πίνακα 2-2).

2.3.2.6. Κορμός και οι Καμπύλες του.

Η ελάττωση των τοπικών πιέσεων στον κορμό και στην πάνω και κάτω καμπύλη του κατά την επιβολή ενός έκκεντρου φορτίου, μειώνει τις ρωγμές στις συγκεκριμένες περιοχές. Πειραματικές μετρήσεις των πιέσεων στα σημεία αυτά υποδεικνύουν ότι οι μέγιστες τάσεις αναπτύσσονται κοντά στην κάτω καμπύλη του κορμού, και επίσης ότι η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την ακτίνα της συγκεκριμένης καμπύλης. Πρόκειται για μια τάση συμπίεσης που εμφανίζεται στην πλευρά του κορμού όπου ασκείται η εκκεντρότητα της φόρτισης. Η λύση που προτείνεται στους σύγχρονους σχεδιασμούς είναι η αύξηση του πάχους του πάνω μέρους του κορμού με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης και σε μερικές περιπτώσεις η αύξηση της γωνίας αμφιδέτησης.

Αν χρησιμοποιείται απλή καμπύλη μεγαλύτερης ακτίνας, τότε παραμένει ανεπαρκές υλικό στο κάτω μέρος της κεφαλής για να στηρίξει τις ράβδους επαφής με την κεφαλή. Αυτό δεν είναι απορριπτέο στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται ράβδοι χωρίς κεφαλή. Για τις ράβδους επαφής με την κεφαλή επιτρέπεται μία απότομη καμπύλη στην κορυφή της καμπύλης του κορμού, όπου και οι πιέσεις είναι μικρές, με την ακτίνα να ρυθμίζεται ή να μεταβάλλεται σταδιακά μέχρι μία μεγαλύτερη τιμή στο κάτω μέρος της καμπύλης του κορμού, όπου εμφανίζονται οι μέγιστες τάσεις.

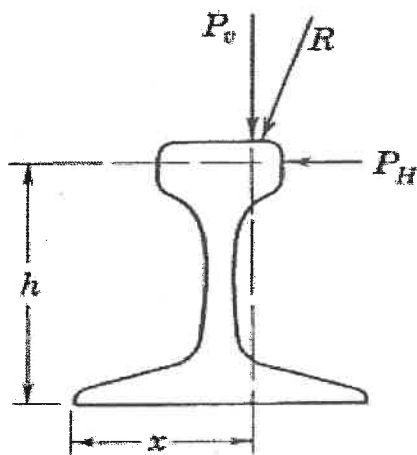
Μία μεγαλύτερη γωνία αμφιδέτησης μειώνει τον κίνδυνο να «παγώνουν» οι ράβδοι συναρμογής τις συναρμογές. Στη σιδηροτροχιά 155 λιβρών, οι μέγιστες τοπικές τάσεις για τις ίδιες συνθήκες φόρτισης είναι 26% μικρότερες από τις αντίστοιχες της σιδηροτροχιάς των 112 λιβρών.

Οι αστοχίες του κορμού μειώνονται με την αύξηση του πάχους του και με την ελάττωση του βάθους διείσδυσης κατά τη θερμική εντύπωση του αριθμού.

2.3.2.7. Πλάτος Πέλματος.

Το πέλμα πρέπει να έχει επαρκές εύρος έτσι ώστε να προσδίνει στη σιδηροτροχιά ευστάθεια και αντίσταση στην ανατροπή. Η επακόλουθη φόρτιση R στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες, P_u και P_H . Η ροπή ανατροπής είναι ίση με $P_H \cdot h$, ενώ η ροπή αντίστασης στην ανατροπή είναι $P_u \cdot x$. Για τη διατήρηση της ευστάθειας πρέπει να ισχύει η συνθήκη $P_u \cdot x > P_H \cdot h$. Από τη στιγμή που η συνιστώσα P_u είναι συνήθως μεγαλύτερη από την P_H , η διάσταση x μπορεί αντίστοιχα να είναι μικρότερη από αυτή που προτείνεται από τα πρότυπα της ASCE. Η σύγχρονη χρήση των υψηλής απόδοσης, ελασμάτων σύνδεσης προσδίνει σταθερότητα στη

σιδηροτροχιά, ενώ παράλληλα επιτρέπει μικρότερο πέλμα σε σχέση με το ύψος (σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7. Ανατροπή και δυνάμεις αντίστασης

(Πηγή: “ *Stresses in the Rails, the Ballast and in the Formation Resulting from Traffic Loads*”).

3. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ Η ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ, ΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ, ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥΣ.

Η σιδηροτροχιά αποτελεί ταυτόχρονα ένα φορέα αλλά είναι και επίπεδο κυλίσεως με αποτέλεσμα να ενδιαφέρει όχι μόνο η άρτια παραγωγή της αλλά και η μετέπειτα συμπεριφορά της στην πράξη.

3.1. Δυνάμεις στην Σιδηροτροχιά.

Η σιδηροτροχιά, και ως συνέπεια και η επιδομή στο σύνολό της, δέχεται δυνάμεις εσωτερικές και εξωτερικές. Αυτές με τη σειρά τους ανάλογα με την κατεύθυνση δράσης τους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες [1]:

Κατακόρυφες δυνάμεις.

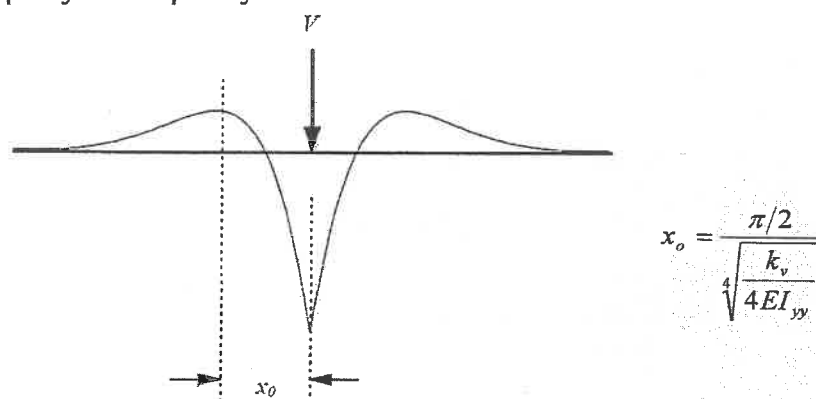
Αποτελούν τις δυνάμεις V που δέχεται η σιδηροτροχιά εξαιτίας των δυνάμεων του τροχού και είναι εξωτερικές δυνάμεις. Η κατανομή τους εξαρτάται από το φορτίο ανά άξονα, την απόσταση των αξόνων του οχήματος, την ανάρτηση και την ταχύτητά του, καθώς και από την διάμετρο του τροχού.

Εγκάρσιες δυνάμεις.

Προέρχονται από την κύλιση των οχημάτων και δρουν πλάγια στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς. Αναλύονται λοιπόν σε κατακόρυφη δύναμη V , δύναμη καθοδήγησης L και σε ροπή στρέψης M . Είναι βεβαίως αντιληπτό ότι πρόκειται για εξωτερικές δυνάμεις των οποίων η κατανομή εξαρτάται από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν.

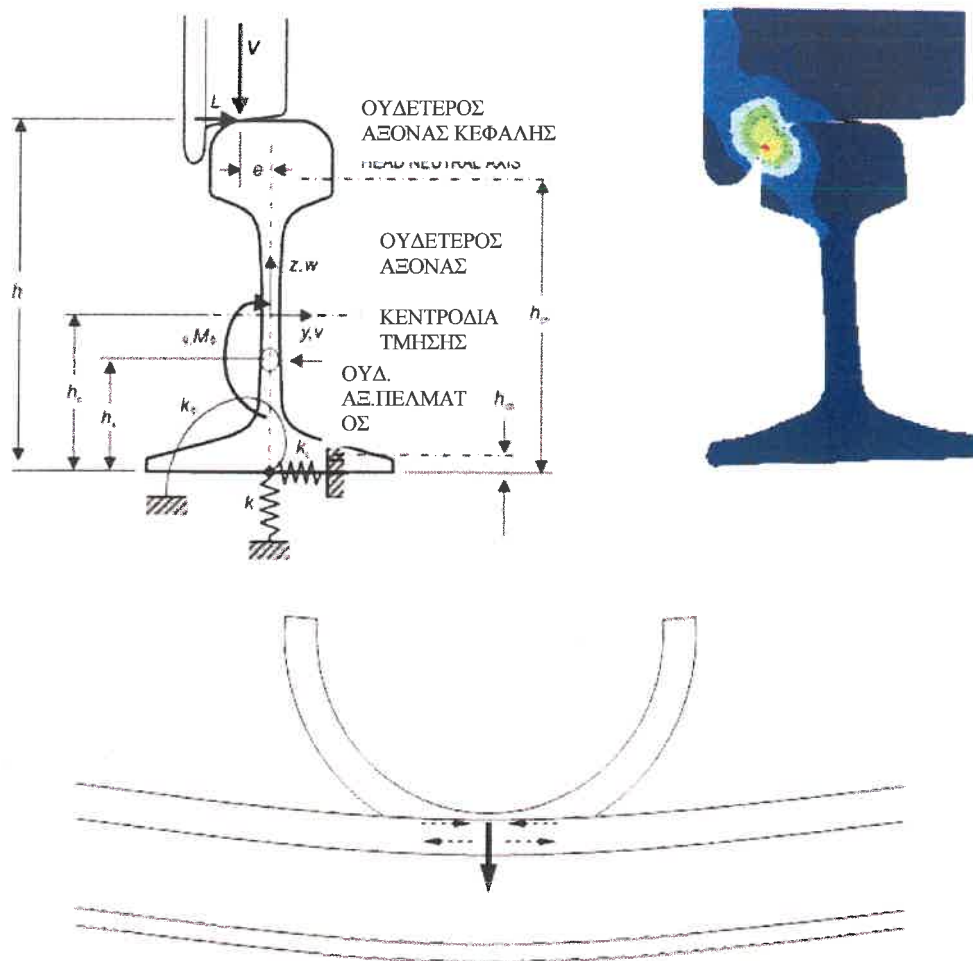
Κατά μήκος δυνάμεις.

Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών προέρχεται από θερμοκρασιακές μεταβολές και είναι συνήθως εσωτερικές.



Σχήμα 3.1. Κατανομή καμπτικής ροπής σε σιδηροτροχιά, σε φόρτιση ενός τροχού, όπου x_0 το σημείο που γίνεται μέγιστη «αντίστροφη» ροπή για κάθετη κάμψη, E το μέτρο ελαστικότητας της σιδηροτροχιάς και K_v η κάθετη ακαμψία της βάσης.

(Πηγή: Ahlstrom J., Karlsson B., 1999).

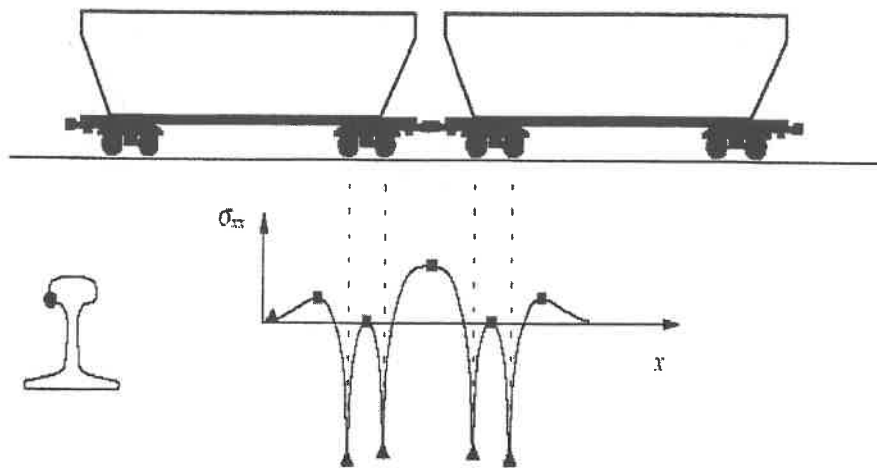


Σχήμα 3.2. Οι δυνάμεις και οι ροπές που αναπτύσσονται στο σύστημα τροχού-σιδηροτροχιάς. (Πηγή: Ahlstrom J., Karlsson B., 1999).

3.2. Τάσεις που αναπτύσσονται στις Σιδηροτροχιές.

Πιο πάνω αναφέρθηκαν οι δυνάμεις που ασκούνται στη σιδηροτροχιά. Εξαιτίας αυτών των δυνάμεων αναπτύσσονται στη σιδηροτροχιά καμπτικές, διατμητικές, θερμικές, παραμένουσες τάσεις και τάσεις επαφής. Οι καμπτικές και διατμητικές τάσεις οφείλονται κυρίως στο βάρος του οχήματος.

Οι καμπτικές τάσεις είναι είτε πλευρικές (τείνουν να κάμψουν την διατομή της σιδηροτροχιάς γύρω από το κέντρο της) είτε κατακόρυφες (τείνουν να κάμψουν την σιδηροτροχιά στον επιμήκη άξονα) (σχήμα 3.2). Στο σημείο επαφής τροχού / σιδηροτροχιάς, οι κατακόρυφες καμπτικές τάσεις είναι θλιπτικές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς και εφελκυστικές στην βάση της, αν και η κατανομή τους είναι αρκετά πολύπλοκη και εξαρτάται από την φόρτιση (βάρος βαγονιού), τον αριθμό των τροχών που φορτίζουν την σιδηροτροχιά στο εκάστοτε σημείο και από τους υπόλοιπους παράγοντες όπως αυτοί αναφέρθηκαν στην παράγραφο (3.1.).



Σχήμα 3.3. Κατανομή διαμήκους καμπτικής τάσης σε σιδηροτροχιά εξαιτίας φόρτισης από δύο βαγόνια.

(Πηγή: Ahlstrom J., Karlsson B., 1999).

Οι διατμητικές τάσεις είναι κυρίως υπεύθυνες για τις αστοχίες των σιδηροτροχιών στις ενώσεις τους. Οι σιδηροτροχιές ενώνονται είτε με συγκολλήσεις, είτε, σε παλαιότερες εφαρμογές, με μεταλλικούς συνδέσμους. Τα σημεία ενώσεως των σιδηροτροχιών ουσιαστικά αποτελούν "ασυνέχειες" όπου δημιουργούνται συγκεντρώσεις τάσεων ικανές να επιφέρουν αστοχία στα σημεία αυτά. Οι διατμητικές τάσεις αντιμετωπίζονται με κατάλληλο σχεδιασμό των ενώσεων, της σιδηροτροχιάς και της βάσης υποστήριξής της.

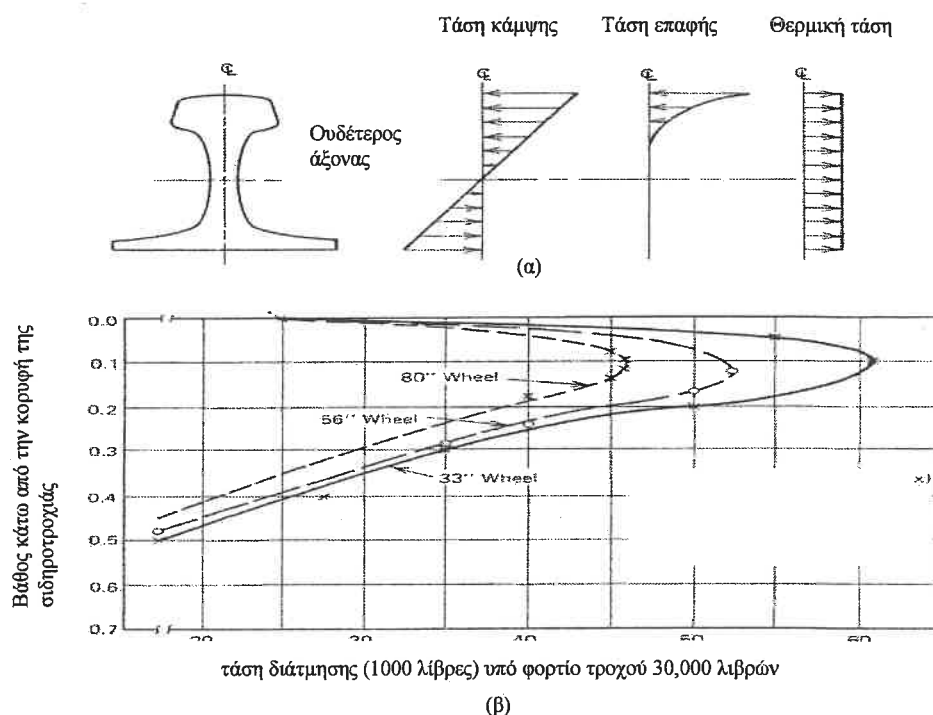
Οι παραμένουσες τάσεις δημιουργούνται στις σιδηροτροχιές κατά την διάρκεια της έλασής τους. Οι τάσεις αυτές είναι κυρίως εφελκυστικές και εστιάζονται στο κέντρο της κεφαλής. Η παρουσία αυτών των εφελκυστικών τάσεων παίζει σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση των ρωγμών γύρω από ένα πυρήνα και στη διάδοσή τους.

Οι θερμικές τάσεις οφείλονται κυρίως στην χρήση συγκολλήσεων στις ενώσεις των σιδηροτροχιών. Σε σχέση με τις μηχανικές ενώσεις (βίδες κλπ.), οι συγκολλήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και αντοχή στη κόπωση. Ουσιαστικά δημιουργείται μια "συνεχής" σιδηροτροχιά, αλλά με αύξηση της θερμοκρασίας υπάρχει ο κίνδυνος η "ομογενής" αυτή σιδηροτροχιά να στρεβλωθεί από τις αναπτυσσόμενες τάσεις συμπίεσης λόγω διαστολής του μετάλλου. Για να αποφευχθεί η παραμόρφωση, οι συγκολλήσεις πραγματοποιούνται σε συνθήκες τέτοιες που να προσομοιώνουν υψηλές θερμοκρασίες, ώστε όταν η συγκολλημένη σιδηροτροχιά κρυώσει να βρίσκεται υπό εφελκυσμό. Οι συγκολλημένες σιδηροτροχιές, βέβαια, διατρέχουν τον κίνδυνο να υποστούν θραύση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή να παραμορφωθούν / στρεβλωθούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Οι τάσεις επαφής αναπτύσσονται μεταξύ του τροχού και της σιδηροτροχιάς. Είναι κυρίως συμπιεστικές τάσεις (φορτίο του τροχού) αλλά έχουν και συνιστώσες στο επίπεδο της κεφαλής της σιδηροτροχιάς που προέρχονται από

τριβή, φρενάρισμα και στρίψιμο (ιδιαίτερα στις καμπύλες τροχιές όπου αναπτύσσονται φυγόκεντρες δυνάμεις από το τραίνο). Σε ιδανικές συνθήκες, το πεδίο κατανομής τάσης μπορεί να περιγραφεί από το πεδίο τάσεων Hertz, στην πραγματικότητα όμως είναι αρκετά πιο σύνθετο καθώς εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων και την ακριβή γεωμετρία της επαφής τροχού σιδηροτροχιάς, το επιβαλλόμενο φορτίο, την καμπύλη της τροχιάς, τον συντελεστή τριβής μεταξύ τροχού/σιδηροτροχιάς, το υπόβαθρο της σιδηροτροχιάς κ.α.

Στο σχήμα 3.4 απεικονίζονται τα διαγράμματα των τάσεων (καμπτικές, επαφής, θερμικές), της σιδηροτροχιάς καθώς και οι τάσεις επαφής και διάτμησης που αναπτύσσονται στη σιδηροτροχιά σε φόρτιση ανά τροχό 30,000 λιβρών.



Σχήμα 3.4. (α) διαγράμματα τάσεων σιδηροτροχιάς, (β) τάσεις επαφής και διάτμησης υπό φορτίο ανά τροχό 30,000 λιβρών.

(Πηγή: "Stresses in the Rails, the Ballast and in the Formation Resulting from Traffic Loads").

3.2.1. Υπολογισμός της Τάσεως Επαφής.

Μια ποικιλία μεθόδων έχει εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό του μεγέθους των τάσεων επαφής. Η συνήθης διαδικασία εφαρμόζει τις αρχές Hertzian των δύο ελαστικών σωμάτων (κυλιόμενοι κύλινδροι) σε επαφή μεταξύ τους-ο τροχός είναι ο ένας κύλινδρος και η σιδηροτροχιά ο άλλος [2].

Ο H. R. Thomas προσάρμοσε τις κάπως πολύπλοκες διαδικασίες Hertzian σε χρηστικές για τη σιδηροδρομική γραμμή με την απλή εξίσωση [3]:

$$\tau = \frac{23,500 \times P^{1/3}}{2 \times (R_1 / R_2)^{0,271} \times R_2^{2/3}} \quad (3.1)$$

όπου τ = τάση επαφής σε λίβρες ανά τετρ.ίντσα

P = δυναμικό φορτίο κυκλοφορίας σε λίβρες

R_1 = ακτίνα του μεγαλύτερου κυλίνδρου σε ίντσες

R_2 = ακτίνα του μικρότερου κυλίνδρου σε ίντσες

Με εφαρμογή των αρχών Hertzian σε μια σιδηροτροχιά που μεταφέρει ένα φορτίο 30,000λιβρών σε τροχούς 33 ιντσών, η κατανομή της τάσης και η ένταση στα διάφορα βάθη είναι αυτές που εκφράζονται με την συνεχή γραμμή στο σχήμα 3.4. Η διακεκομμένη γραμμή εκφράζει τάση για ενδεικτικές διαμέτρους τροχού.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η κεφαλή μιας σιδηροτροχιάς θα φθαρεί σε μια ακτίνα περίπου 11.5 ιντσών και ένας τροχός θα αναπτύξει ένα κοίλωμα στη γλυφή κύλισής του με μια σταθερή ακτίνα περίπου 17 ιντσών. Μια διόρθωση κρίνεται επομένως απαραίτητη για να αναπληρώσει την έλλειψη εφαρμογής μεταξύ της κεφαλής της σιδηροτροχιάς και της γλυφής κύλισης του τροχού. Η επίδραση του φθαρμένου τροχού στην τάση επαφής είναι ισοδύναμή με την προσαύξηση της ακτίνας κεφαλής της σιδηροτροχιάς σε μια διορθωμένη τιμή R' . Ο Thomas εξέφρασε αυτή τη διόρθωση ως $R_1 = R'$, όπου:

$$R' = \frac{R_H \times R_R}{R_H - R_R} \quad (3.2)$$

όπου R' = η μεγαλύτερη ακτίνα = R_1 σε ίντσες

R_H = η ακτίνα του κοιλώματος του τροχού = 17 ίντσες

R_R = η ακτίνα της κεφαλής της σιδ/χιάς, καινούρια
ή φθαρμένη ίση με 11.5 ίντσες [3].

Χρησιμοποιώντας αυτές τις εξισώσεις η τιμή του τ μπορεί να υπολογιστεί όπως φαίνεται στον πίνακα 3-1. Όταν η R' υπολογίζεται, η ακτίνα του τροχού γίνεται R_2 , έκτοτε είναι συνήθως μικρότερη.

Τα φορτία κυκλοφορίας των 30,000 λιβρών υπερβαίνουν το όριο κοπώσεως των 50,000 psi που είναι αποδεκτό από την AAR-AREA. Ο καινούριος τροχός σε καινούρια σιδηροτροχιά είναι ο χειρότερος συνδυασμός, και ο φθαρμένος τροχός σε παλιά σιδηροτροχιά είναι ο μόνος συνδυασμός εντός των επιτρεπτών ορίων και αυτό διότι η εφαρμογή μεταξύ της σιδηροτροχιάς και του τροχού κατανέμει το φορτίο πάνω από μια μεγαλύτερη περιοχή επαφής. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο με τα οχήματα υψηλής χωρητικότητας που κυλούν σε καινούρια σιδηροτροχιά. Τα βαριά φορτία κυκλοφορίας προκαλούν

επιταχυνόμενη φθορά, και πλαστική ροή. Ένα διάλειμμα με μια περίοδο χαμηλής – ταχύτητας ή ελαφριάς-φόρτισης για μια καινούρια σιδηροτροχιά θα μπορούσε να βοηθήσει στο πρόβλημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1. Τάσεις Επαφής για φορτίο τροχού 30,000 λιβρών^α

Συνδυασμός σιδηροτροχιάς –τροχού	P (λιβρ.)	R ₁ (ίν.)	R ₂ (ίν.)	T (psi)
Νέα σιδ/χιά-νέος τροχός	36,900	18.0	10.0	71,973
Παλιά σιδ/χιά- νέος τροχός	36,900	18.0	11.5	67,887
Νέα σιδ/χιά-παλιός τροχός	36,900	24.3 (R')	18.0	52,200
Παλιά σιδ/χιά-παλιός τροχός	36,900	35.5 (R')	18.0	47,297

^α Σε 30 mph σε σιδ/χιά 132-λιβρών και για τροχούς 36-ιντσών.

(Πηγή: “ Stresses in the Rails, the Ballast and in the Formation Resulting from Traffic Loads”).

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2. το πεδίο των τάσεων που υπολογίζονται με τη διαδικασία Hertzian περιγράφει το πραγματικό πεδίο κατανομής της τάσεως στη σιδηροτροχιά μόνο σε ιδανικές συνθήκες. Οι αρχές Hertzian εφαρμόζονται μόνο εντός του ελαστικής περιοχής και σε ισότροπα ή ομογενή υλικά. Πολλά προβλήματα που αφορούν τάση επαφής ξεκινούν εκεί όπου η πλαστική ροή έχει κιάλας συμβεί. Το μέταλλο της σιδηροτροχιάς δεν είναι ισότροπο ή ομογενές. Η διαδικασία αφορά μόνο κατακόρυφα φορτία και παραλείπει τις ορθογώνιες τάσεις, οι οποίες είναι, εκείνες που απορρέουν από τις διαμήκεις και πλευρικές δυνάμεις. Τα αποτελέσματα δεν ισχύουν για φορτία κοντά στην γωνία κυλίσεως. Εντούτοις η διαδικασία Hertzian δίνει προσεγγιστική εκτίμηση των τάσεων που αναπτύσσονται και δείχνει ότι μεγάλο μέρος της σιδηροτροχιάς υπερφορτίζεται από κατακόρυφα φορτία και επιπλέον τις πρόσθετες δυσμενείς συνέπειες της περιστροφικής και πλευρικής ολίσθησης.

Πιο περίπλοκες μέθοδοι απαιτούνται για τον υπολογισμό των ακριβών συνθηκών και δυνάμεων. Η εφαρμογή της διαδικασίας του πεπερασμένου στοιχείου που αναπτύχθηκε από τον G. C. Martin επιτρέπει μια τέτοια εκτίμηση [4].

3.2.2. Ατέλειες που οφείλονται σε Τάσεις Επαφής.

Μια κατηγορία ατελειών μπορεί να ταυτιστεί ως στενά συνδεδεμένη και προερχόμενη από τάσεις επαφής. Οι τάσεις επαφής καθώς και οι τάσεις διατμήσεως είναι εξαιρετικά σημαντικές για τη διάρκεια καταπόνησης της σιδηροτροχιάς και για τις ατέλειες που προέρχονται από τις παραμένουσες τάσεις και την πλαστική ροή.

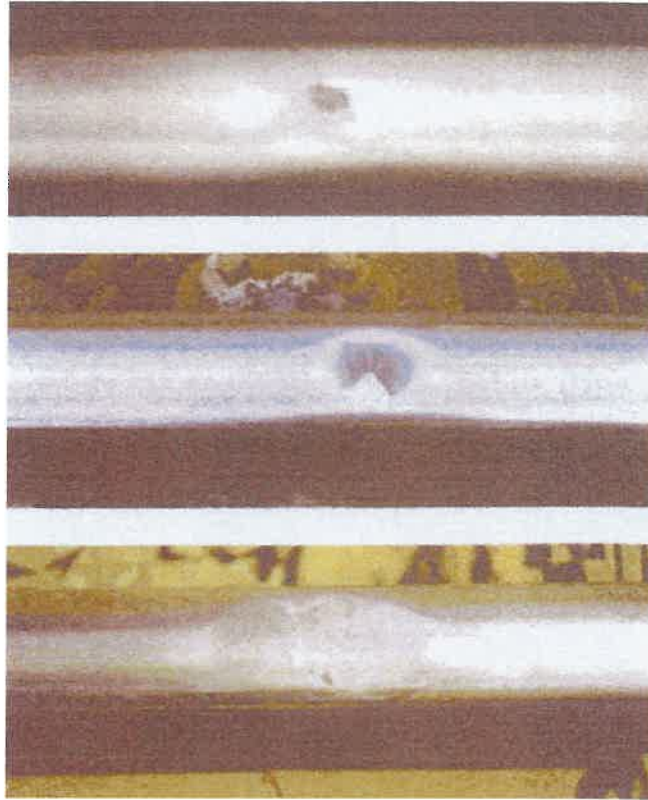
Head checks είναι μικρορωγμές υπό χαμηλή γωνία με κατεύθυνση ίδια με την κατεύθυνση κύλισης που δημιουργούνται συνήθως στη σιδηροτροχιά καμπυλών, στην εσωτερική γωνία της, δηλαδή στην γωνία της κεφαλής της σιδηροτροχιάς στην περιοχή επαφής με τον τροχό. Οι μικρορηγματώσεις αναπτύσσονται σε συστοιχίες και μπορούν, όταν αναπτυχθούν, να ενωθούν μεταξύ τους, αποσπώντας τμήμα της γωνίας σε βάθος μερικών χιλιοστών, με επακόλουθη φθορά του τροχού και της σιδηροτροχιάς. Όταν φθάσουν σε βάθος 3 - 5 mm από την επιφάνεια μπορούν να διαδοθούν προς τα κάτω για να δημιουργήσουν εγκάρσια ρωγμή, που σε μερικές περιπτώσεις οδηγεί σε πλήρη εγκάρσια θραύση της σιδηροτροχιάς.

Θραύση (Spalling) είναι η διάσπαση μεγάλων όγκων μετάλλου από τη γωνία κύλισης, με ενδεχόμενη εξασθένιση στη διάρθρωση της σιδηροτροχιάς σε σημείο αστοχίας σε κάμψη ή απότομης ρήξης. Πιθανές αιτίες είναι μεγάλα φορτία κυκλοφορίας συνδυασμένα με ευθραυστότητα του μετάλλου.

Απολέπιση (Flaking) είναι μια απεμπλοκή μικρών σωματιδίων (περίπου στο μέγεθος ενός νυχιού) από την επιφάνεια κυλίσεως. Το μέταλλο στην επιφάνεια βρίσκεται υπό συμπίεση. Το περιβάλλον μέταλλο επιβραδύνει τη δημιουργία ρωγμών, έτσι δημιουργούνται λεπτά λέπια χάλυβα.

Αποφλοιώση (shelly defects) είναι ένα είδος ατέλειας λόγω καταπόνησης προερχόμενη κυρίως από την μεγάλη πίεση που ασκούν οι τροχοί των βαγονιών σε μια μικρή περιοχή η οποία παράγει ενδότερες τάσεις διάτμησης και (πλαστική) ροή οι οποίες υπερβαίνουν την ικανότητα αντίστασης των σιδηροτροχιών [5].

Squats. Τα squats παρουσιάζονται στην επιφάνεια της σιδηροτροχιάς ως διεύρυνση της ζώνης επαφής τροχού/ σιδηροτροχιάς και ως "βύθιση" της επιφάνειας κύλισης. Εμφανίζονται σε ευθεία τμήματα σιδηροτροχιών ή σε μεγάλες καμπύλες. Στο αρχικό στάδιο της ατέλειας αυτού του είδους υπάρχουν "σκοτεινές" περιοχές που περιέχουν μικρορωγμές κυκλικής μορφής ή μορφής V. Από τον πυρήνα αυτό οι μικρορωγμές διαδίδονται υπό χαμηλή γωνία σε σχέση με την επιφάνεια προκαλώντας αποκόλληση στρώματος του υλικού και επακόλουθη φθορά της σιδηροτροχιάς. Όπως και στην περίπτωση των head checks, όταν φτάσουν σε βάθος 3 - 5 mm, μπορούν να διαδοθούν κάθετα υπό μορφή εγκάρσιας ρωγμής.



*Εικόνα 3-1. Κατηγοριοποίηση φαινομένου squat. Ξεκινώντας από πάνω, ελαφρύ, μέσο και έντονο αντίστοιχα.
(Πηγή: Ringsberg J. W., 2000).*

Οι ατέλειες των head checks και squat αποτελούν και τους κύριους τύπους μικρορωγμών στην επιφάνεια των σιδηροτροχιών που αναπτύσσονται με το μηχανισμό της κόπωσης εξ επαφής σε κύλιση που περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 3.4 και που αναφέρεται πιο κάτω.

3.3. Κόπωση Μετάλλου.

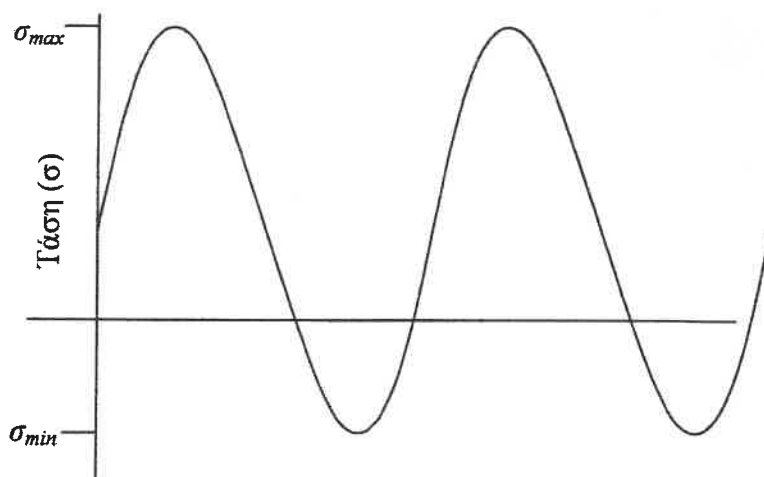
Ένας τρόπος αστοχίας του μετάλλου αποτελεί η κόπωση. Με την έναρξη της λειτουργίας των μεταλλικών τροchioδρόμων το φαινόμενο ήταν έκδηλο με τη μορφή αστοχίας των σιδηροτροχιών, των αξόνων και των άλλων μεταλλικών εξαρτημάτων.

Σε πολλές εφαρμογές τα υλικά υπόκεινται σε εφαρμογή κυκλικής τάσης με τιμές μικρότερες της αντοχής παραμόρφωσης του εκάστοτε υλικού. Αυτή η επαναλαμβανόμενη τάση μπορεί να είναι το αποτέλεσμα συμπίεσης, εφελκυσμού, περιστροφής, κάμψης, ή ακόμα και δόνησης. Αν και η τάση αυτή είναι μικρότερη της αντοχής παραμόρφωσης, το υλικό μπορεί να αστοχήσει μετά από μεγάλο αριθμό κύκλων, το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως κόπωση.

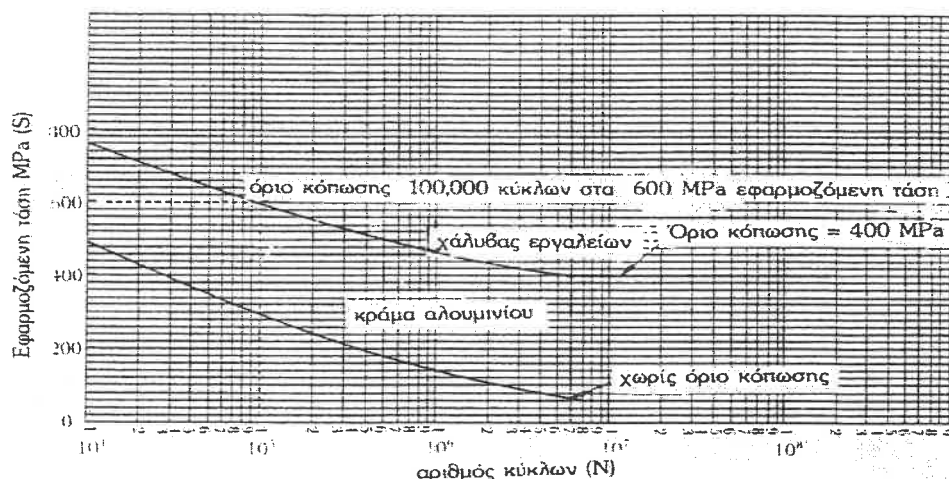
Στην περίπτωση της σιδηροτροχιάς κατά τη διέλευση ενός συρμού λαμβάνει χώρα μια κυκλική μεταβολή του φορτίου που δέχεται η σιδηροτροχιά. Η κυκλική αυτή μεταβολή μπορεί να προσομοιωθεί με μια απλή κυκλική

μεταβολή της τάσης, η οποία παριστάνεται γενικά από τη συνημιτονοειδή καμπύλη που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6. Παρατηρείται ότι η ελάχιστη τάση μπορεί να λαμβάνει τιμή και μικρότερη της μηδενικής, ουσιαστικά αντιστοιχεί σε αντίστροφη εφαρμογή της τάσης (συμπίεση ή εφελκυσμό).

Οι κύριοι παράγοντες της κόπωσης, είναι η μέγιστη εφαρμοζόμενη τάση, η διαφορά $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$, και ο αριθμός των κύκλων N . Σε δοκιμές κόπωσης των μετάλλων, καταγράφεται ο αριθμός των κύκλων που απαιτούνται για αστοχία, σε συνάρτηση με έναν από τους άλλους δύο παράγοντες ($\sigma_{\max}$ ή $\Delta\sigma$), και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε καμπύλες τάσης - αριθμού κύκλων μέχρι αστοχίας (Stress-Number: S-N) όπως φαίνεται στο σχήμα 3-8.



Σχήμα 3.6. Εφαρμογή κυκλικής τάσης.
(Πηγή: Παπαδημητρίου Γ. Δ., 1989).



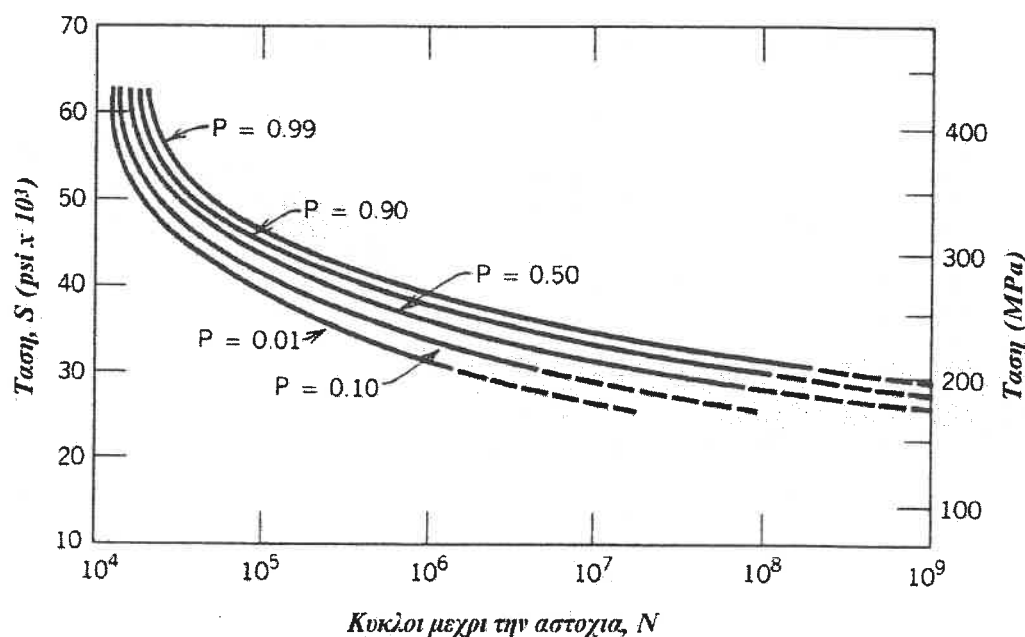
Σχήμα 3.7. Καμπύλη τάσης - πλήθους κύκλων μέχρι αστοχίας (S-N) για κράμα αλουμινίου και χάλυβα.

(Πηγή: Παπαδημητρίου Γ. Δ., 1989).

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις, είτε να υπάρχει όριο κοπώσεως είτε όχι. Στην περίπτωση ύπαρξης ορίου κοπώσεως όσο μειώνεται η εφαρμοζόμενη τάση,

τόσο αυξάνονται οι κύκλοι στους οποίους το υλικό μπορεί να υποβληθεί πριν αστοχήσει, μέχρι κάποια συγκεκριμένη τιμή της τάσης, η οποία αποτελεί το όριο κόπωσης, και για τιμές μικρότερες αυτής το υλικό μπορεί να υποβληθεί, πρακτικά σε άπειρο αριθμό κύκλων. Για αρκετούς χάλυβες, το όριο αυτό κυμαίνεται μεταξύ 35-60% της αντοχής εφελκυσμού. Στη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση έλλειψης ορίου κόπωσης, όσο μειώνεται η εφαρμοζόμενη τάση, αυξάνεται ο αριθμός των κύκλων μέχρι αστοχίας. Η αντοχή σε κόπωση ορίζεται ως η τιμή της τάσης στην οποία θα λάβει χώρα αστοχία μετά από δεδομένο αριθμό κύκλων. Αντίστοιχα, ορίζεται ως επιχειρησιακή ζωή ο αριθμός των κύκλων που απαιτούνται για αστοχία κάτω από επιβολή δεδομένης τάσης.

Οι καμπύλες, του σχήματος 3.7 αποτελούν τις βέλτιστες καμπύλες για τα δεδομένα δοκιμών (δοκίμια με ή χωρίς πρότυπες ρωγμές). Μπορεί για παράδειγμα μερικά δείγματα να είχαν αστοχήσει σε πλήθος κύκλων μικρότερο από αυτό που ορίζει η καμπύλη (αστόχησαν δηλαδή σε σημεία αριστερά της καμπύλης), ενώ άλλα άντεξαν, για δεδομένη τάση, σε περισσότερους κύκλους (αντιστοιχούν, δηλαδή, σε σημεία δεξιά από τις καμπύλες). Ως εκ τούτου αντιλαμβανόμαστε ότι είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε την πιθανότητα κάποιο υλικό να αστοχήσει σε δεδομένο ζεύγος τάσης και πλήθους κύκλων, ή αντίστοιχα να γνωρίζουμε τον μέγιστο αριθμό κύκλων που ένα υλικό μπορεί να αντέξει πριν αστοχήσει για δεδομένη πιθανότητα και εφαρμοζόμενη τάση. Τέτοιες πληροφορίες δίνουν διαγράμματα όπως αυτό που απεικονίζεται στο σχήμα 3.8.

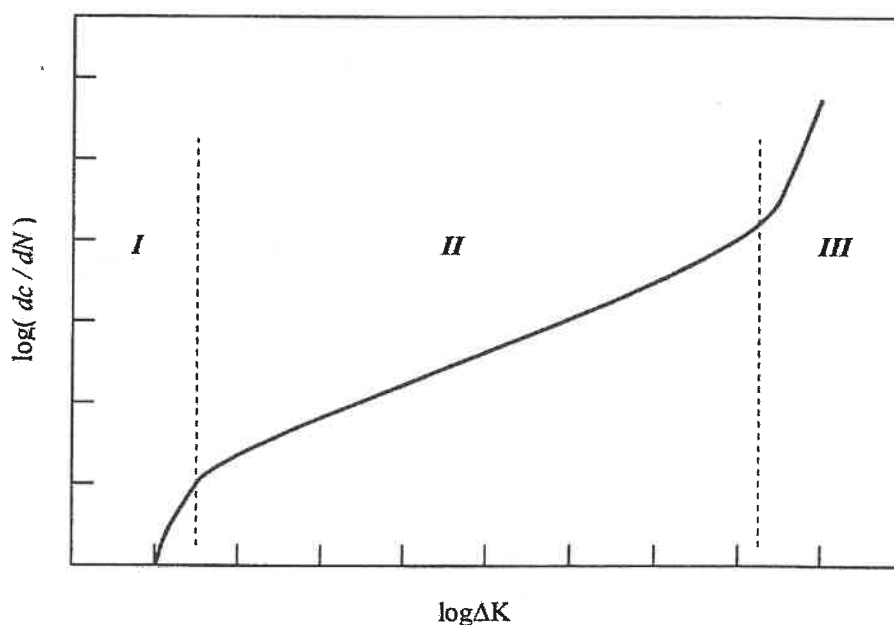


Σχήμα 3.8. Καμπύλες S-N πιθανότητας αστοχίας για κράμα αλουμινίου 7075-T6. Ο όρος P εκφράζει την πιθανότητα αστοχίας. Σύμφωνα με το διάγραμμα για παράδειγμα σε τάση 30000 psi, θα αναμέναμε 1% των δειγμάτων να αστοχήσει σε περίπου 10^6 κύκλους, και 50% των δειγμάτων να αστοχήσει σε περίπου 2×10^7 κύκλους. (Πηγή: Παπαδημητρίου Γ. Δ., 1989).

Οι καμπύλες S-N αποτελούν την βάση σχεδιασμού στην αντιμετώπιση της κλασικής κόπωσης, αλλά αποτελούν παράλληλα και το πλαίσιο προληπτικής συντήρησης του εξοπλισμού των σιδηροδρόμων. Για παράδειγμα στις σιδηροτροχιές οι αρχές των καμπύλων S-N μπορούν να εφαρμοσθούν με την έννοια του υπολογισμού του χρόνου ζωής (δηλαδή του χρόνου ή του συνολικού φορτίου πριν την αστοχία, ή στην περίπτωση της προληπτικής συντήρησης του χρόνου μέχρι οικονομικής αντικατάστασης τους) σε σχέση με το συνολικό φορτίο που έχουν δεχτεί.

Η κόπωση είναι ένας μόνο από τους μηχανισμούς διάβρωσης που δρουν παράλληλα στα υλικά, άλλοι μηχανισμοί είναι η οξείδωση, ο ερπυσμός και η τριβή. Η παράλληλη δράση των μηχανισμών αυτών δεν αποτελεί πάντοτε γραμμική υπερθέτησή τους αλλά πιο πολύπλοκη.

Στο σχήμα 3.9 απεικονίζονται τα τρία στάδια ανάπτυξης των επιπτώσεων της κόπωσης στα μέταλλα : Έναρξη ρωγμών κόπωσης (I), ανάπτυξη ρωγμών κόπωσης (II), και τελική θραύση (III). Το πρώτο στάδιο της πυρηνοποίησης των ρωγμών δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητό. Σχετίζεται πάντως με τοπική πλαστική παραμόρφωση και συνήθως ξεκινά στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού ή σε εσωτερική διεπιφάνεια (π.χ. δεύτερη φάση, εγκλεισμένη ακαθαρσία, πόροι κλπ). Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεύθυνση της ρηγμάτωσης ακολουθεί συγκεκριμένα συστήματα ολίσθησης και όχι απαραίτητα την διεύθυνση της εφαρμοζόμενης τάσης.



Σχήμα 3.9. Σχηματική απεικόνιση του ρυθμού ανάπτυξης των ρωγμών στη διάρκεια κυκλικής κοπώσεως.

(Πηγή: Παπαδημητρίου Γ. Δ., 1989).

Το δεύτερο στάδιο χαρακτηρίζεται από ανάπτυξη ρωγμών. Ο ρυθμός ανάπτυξης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την $\Delta\sigma$ παρά από την μέση τάση.

Ουσιαστικά η παράμετρος που ελέγχει την διαδικασία ανάπτυξης είναι ο παράγοντας έντασης τάσης, K . Ο ρυθμός ανάπτυξης των ρωγμών έχει βρεθεί ότι υπακούει τον κανόνα του Paris (περιοχή II στο σχήμα 3.8):

$$\frac{dc}{dN} = A * (\Delta K)^{m_f}$$

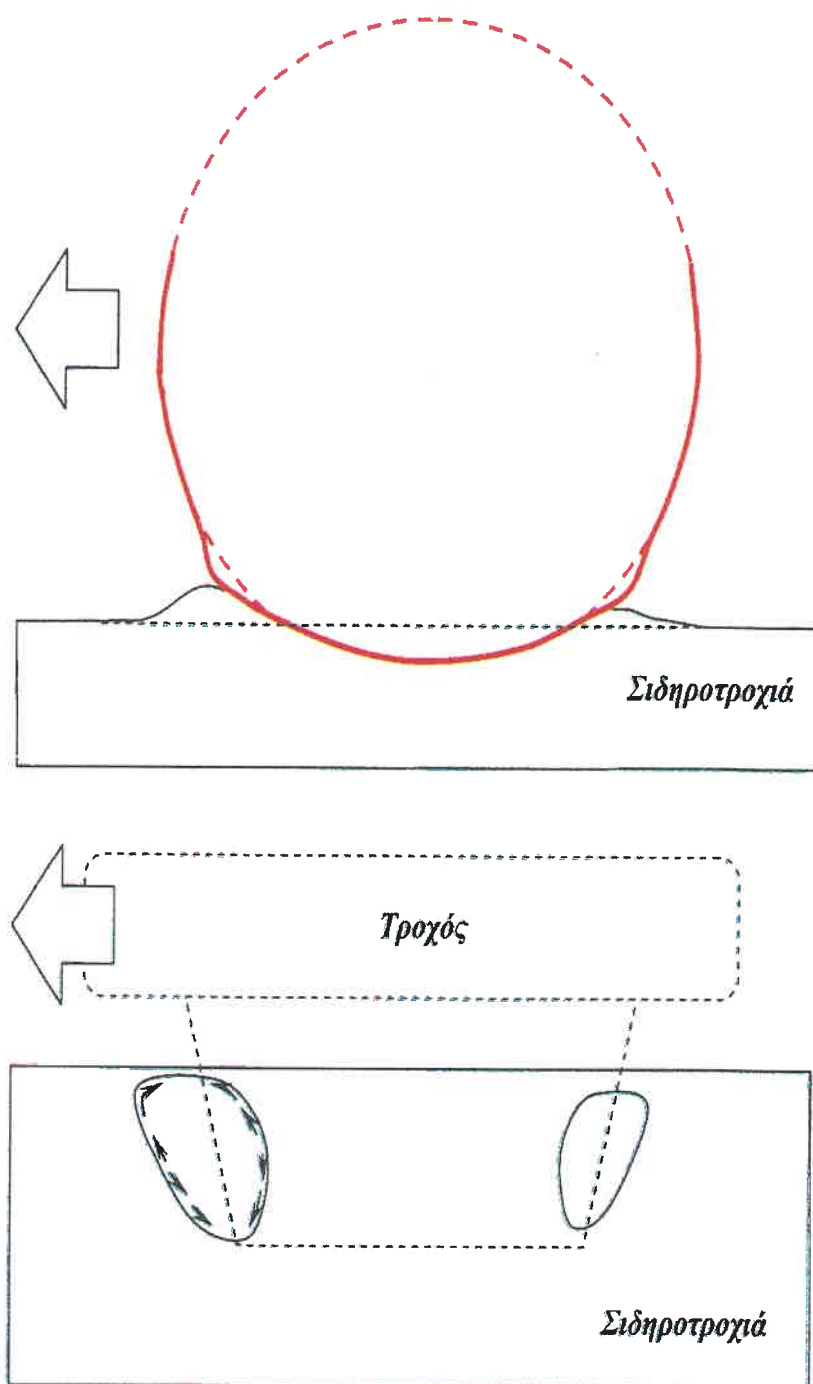
όπου c είναι το μήκος της ρωγμής, N είναι ο αριθμός των κύκλων εφαρμογής της τάσης, $\Delta K = Y \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \cdot c^{1/2}$, ενώ A και m_f είναι εμπειρικοί παράμετροι που εξαρτώνται από το υλικό και το περιβάλλον εφαρμογής της τάσης.

Στο τελικό στάδιο λαμβάνει χώρα η αστοχία λόγω υπερφόρτισης που οφείλεται στο ότι η εναπομένονσα επιφάνεια διατομής δεν μπορεί να αντέξει στην μέγιστη εφελκυστική τάση (περιοχή III).

3.4. Κόπωση εξ Επαφής σε Κύλιση (Rolling Contact Fatigue).

Η κόπωση εξ επαφής σε κύλιση (Rolling Contact Fatigue: RCF) αναφέρεται στην κόπωση του μετάλλου της σιδηροτροχιάς λόγω εφαρμογής επαναλαμβανόμενων και με υψηλές τιμές κάθετων και εφαπτόμενων τάσεων στην επιφάνεια επαφής μεταξύ του τροχού και της σιδηροτροχιάς. Οι τάσεις αυτές προκαλούν σφοδρή διάτμηση του επιφανειακού στρώματος και σταδιακά προκαλούν κόπωση του μετάλλου ή μειώνουν την ολκιμότητα του. Η περιοχή γύρω από την διεπιφάνεια τροχού - σιδηροτροχιάς (σχήμα 3.10) υπόκειται σε πολύπλοκη κατανομή τάσεων συμπίεσης, εφελκυσμού, διάτμησης που έχουν σαν αποτέλεσμα την έναρξη μικροσκοπικών ρωγμών.

Στο σχήμα 3.10 απεικονίζεται η ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ τροχού (κόκκινη καμπύλη) και σιδηροτροχιάς (άνω: διαμήκης τομή, κάτω: κάτοψη). Το βέλος υποδεικνύει την φορά κύλισης. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στην κυκλική περιφέρεια της επιφάνειας επαφής του τροχού, ενώ η συμπαγής κόκκινη καμπύλη στο σχήμα που λαμβάνει ο τροχός κατά την επαφή του με την σιδηροτροχιά. Στο κάτω τμήμα παρουσιάζεται ο "κυματισμός" που δημιουργείται στην σιδηροτροχιά μπροστά και πίσω από τον παραμορφωμένο τροχό (λόγω της φόρτισης και της ελαστικότητας του) και οι περιφερειακές τάσεις που αναπτύσσονται στο υλικό της σιδηροτροχιάς.

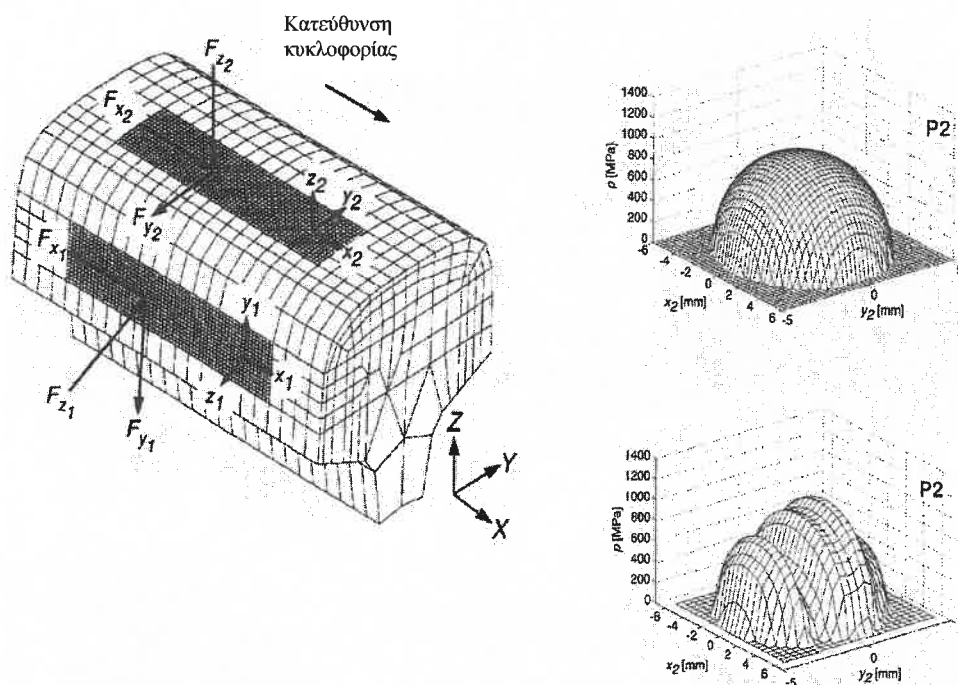


Σχήμα 3.10. σχηματική παρουσίαση της ζώνης αλληλεπίδρασης μεταξύ τροχού (κόκκινη καμπύλη) και σιδηροτροχιάς (άνω: διαμήκης τομή, κάτω: κάτοψη).
(Πηγή: Dang Van K., Maitournam M.H., 2003).

Στο σχήμα 3.11 απεικονίζονται οι περιπτώσεις Hertzian και non- Hertzian κατανομής της πίεσης επαφής του τροχού στην σιδηροτροχιά. Οι αναλύσεις των εφαρμοζόμενων τάσεων γίνονται συνήθως με μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Modeling: FEM) όπως στο Σχήμα 3-12.



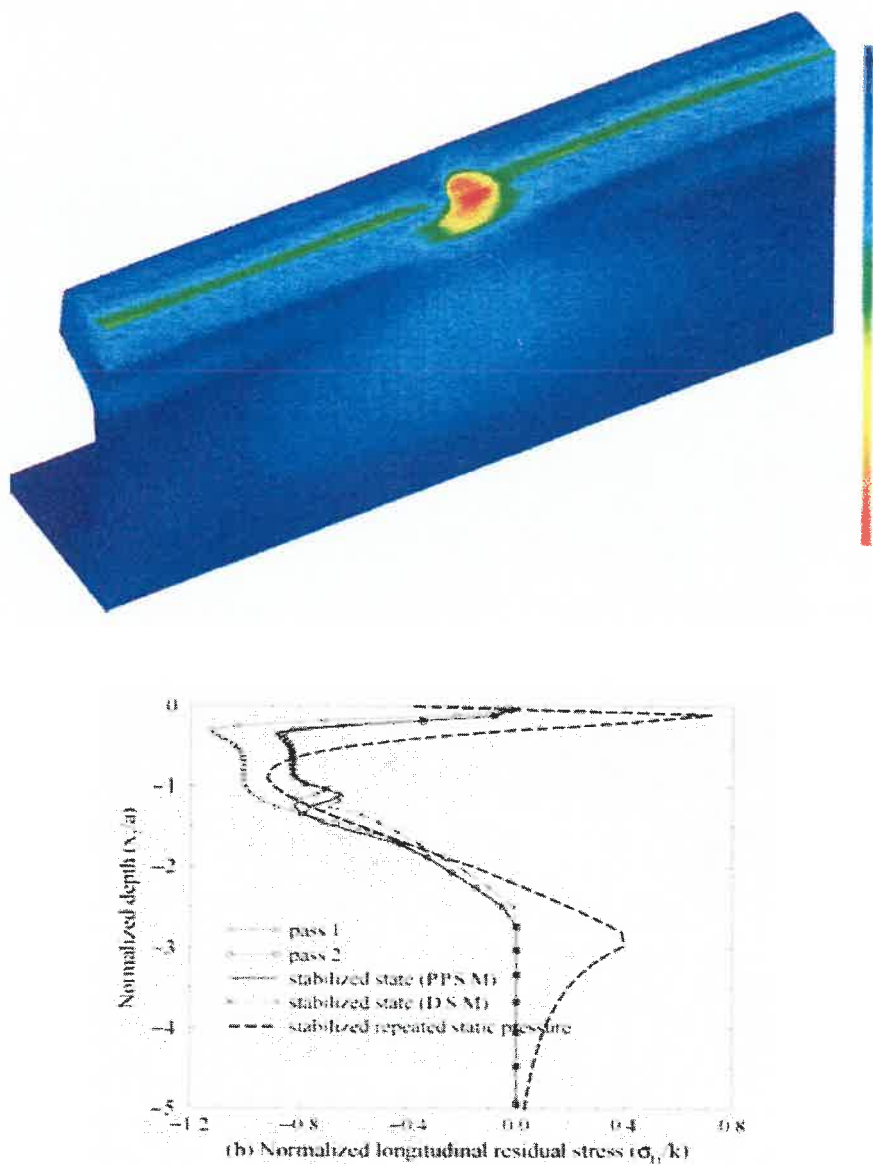
Σχήμα 3.12. Κατανομή τάσεων πλαστικής παραμόρφωσης σε σιδηροτροχιά θεωρώντας σφαιρική κατανομή πίεσης από τον τροχό με ακτίνα επαφής $a=10\text{mm}$, συντελεστή φόρτισης $P_0/k_e = 6.7$ και συντελεστή $\mu = Q/P=0$. Σιδηροτροχιά τύπου UIC 160. (Πηγή: Ringsberg J.W., Josefson B.L., 2001).



Σχήμα 3.11. Hertzian (δεξιά - άνω) και non- Hertzian (δεξιά - κάτω) κατανομή πίεσης επαφής (στην περιοχή 2: άνω μέρος της κεφαλής της σιδηροτροχιάς) για σιδηροτροχιά τύπου UIC60 (αριστερά). (Πηγή: Ringsberg J.W., Josefson B.L., 2001).

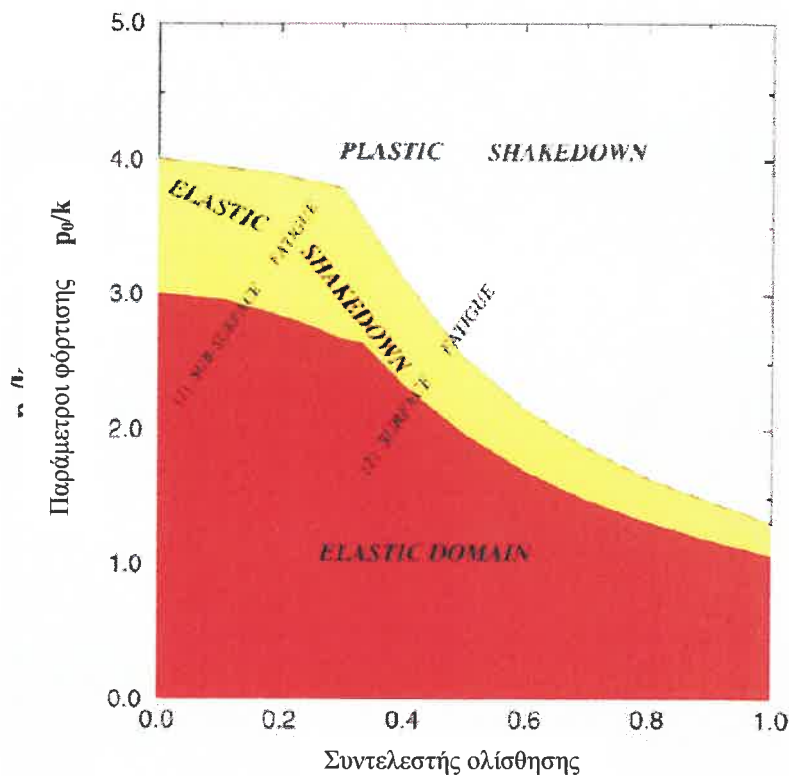
Σε χαμηλές φορτίσεις, το πολύπλοκο πεδίο τάσης προκαλεί ελαστική παραμόρφωση της περιοχής. Σε μεγαλύτερες τιμές φόρτισης, που ικανοποιούν

το κριτήριο διαρροής, λαμβάνει χώρα εναλλασσόμενη πλαστική παραμόρφωση αλλά και ανάπτυξη παραμένουσων τάσεων οι οποίες και αυξάνονται με κάθε νέα διέλευση τροχών (σχήμα 3.13) και προκαλούν σκλήρυνση του υλικού. Μετά από ορισμένο αριθμό διελεύσεων οι παραμένουσες τάσεις λαμβάνουν σταθερή τιμή (και κατανομή, βλέπε σχήμα 3.13) που αναχαιτίζει την περαιτέρω πλαστική παραμόρφωση του υλικού. Και οι δύο παράγοντες μπορούν να αυξήσουν το πραγματικό ελαστικό όριο, δηλαδή το υλικό μπορεί να δεχθεί μεγαλύτερες φορτίσεις με ελαστική συμπεριφορά λόγω των υπερθετημένων παραμένουσων τάσεων και της σκλήρυνσης. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **elastic shakedown**, και αντιστοιχεί στην κίτρινη περιοχή στο Σχήμα 3.14, τον χάρτη κόπωσης του υλικού για διάφορους συντελεστές ολίσθησης.



Σχήμα 3.13. Ανάπτυξη παραμένουσων τάσεων σε σιδηροτροχιά μετά από επανειλημμένες διελεύσεις τροχών.

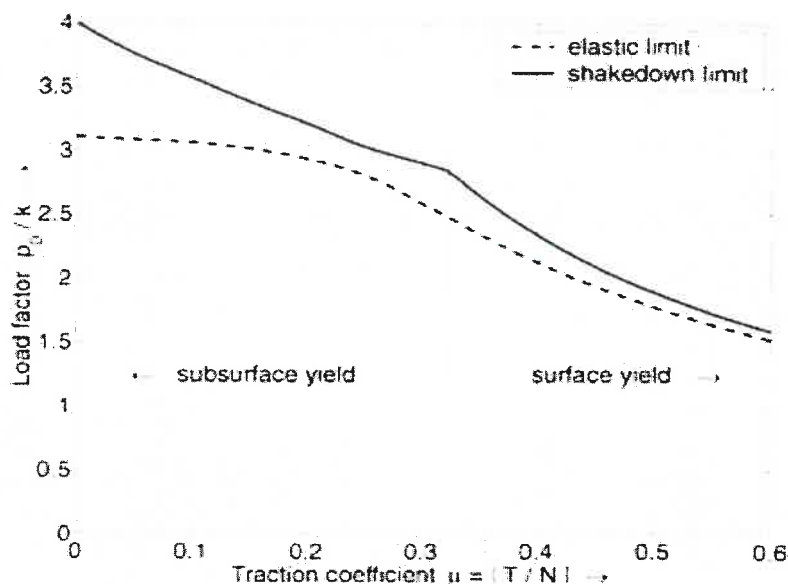
(Πηγή: Dang Van K., Maitournam M.H., 2000)



σχήμα 3.14. Χάρτης κόπωσης για δισδιάστατους υπολογισμούς ελαστοπλαστικότητας και κόπωσης. p_0 είναι η μέγιστη τάση για Hertzian πεδίο, k το όριο διαρροής σε διάτμηση (shear yield limit) και $\mu = Q/P$ ο συντελεστής ολίσθησης. (Πηγή: Bohmer A., Ertz M., Knothe K., 1999).

Το όριο shakedown υπό την παρουσία των παραμένουσων τάσεων και υπό την εφαρμογή των τάσεων επαφής εξαρτάται από τον συντελεστή ολίσθησης. Για καθαρά κάθετο φορτίο (καθαρή κύλιση, συντελεστής τριβής $\mu = 0$), το όριο είναι $p_0/k = 4$. Αν το όριο shakedown ξεπερασθεί, είτε λόγω αύξησης του φορτίου, είτε λόγω αύξησης της τριβής ολίσθησης, θα λάβει χώρα επαναλαμβανόμενη πλαστική παραμόρφωση με κάθε κύκλο φόρτισης, που οδηγεί σε δημιουργία μικρορωγμών και σταδιακή αστοχία. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται ratchetting (plastic shakedown).

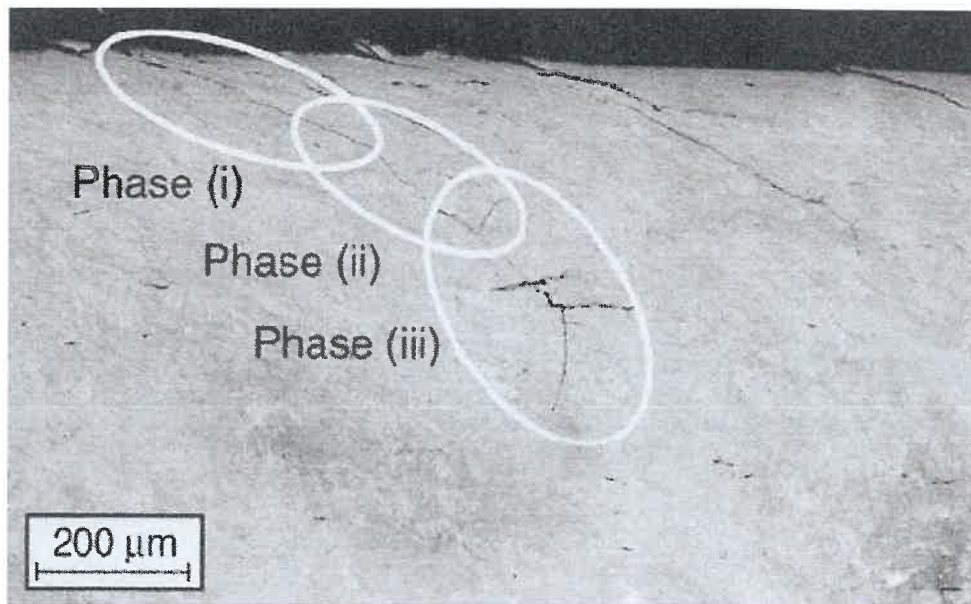
Ο χάρτης κόπωσης (σχήμα 3.14 ή σχήμα 3.15) μας δίνει δύο ειδών πληροφορίες. Αφενός μεν υποδεικνύει τα όρια shakedown για διάφορες συνθήκες φόρτισης και ολίσθησης, αφετέρου δε παρουσιάζει τον τύπο κόπωσης που θα εμφανισθεί. Έτσι, η περιοχή (1) Subsurface Fatigue (subsurface yield σχήμα 3.15) αντιστοιχεί σε κόπωση υψηλών κύκλων στις elastic και elastic shakedown ζώνες όπου οι ρωγμές δημιουργούνται σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια. Αντίθετα, η περιοχή (2) Surface Fatigue (surface yield σχήμα 3.15) αντιστοιχεί σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή η έναρξη πλαστικής παραμόρφωσης μπορεί να γίνει στην επιφάνεια. Η περιοχή (2) οδηγεί σε shelling που σχετίζεται με κόπωση μικρού αριθμού κύκλων.



Σχήμα 3.15. Χάρτης κόπωσης όπου παρουσιάζονται οι δύο τύποι φθοράς, υπο-επιφανειακή διαρροή (*subsurface yield*) και επιφανειακή διαρροή (*surface yield*) ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης και ολίσθησης.

(Πηγή: Bohmer A., Ertz M., Knothe K., 1999).

Η ανάπτυξη των μικρορωγμών RCF μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια (εικόνα 3-2). Στο πρώτο στάδιο (Phase I) δημιουργούνται μικρορωγμές στην επιφάνεια λόγω διατμητικών τάσεων. Το δεύτερο στάδιο (Phase II) είναι μεταβατικό ενώ στο τρίτο στάδιο (Phase III) η ανάπτυξη των μικρορωγμών γίνεται λόγω συνδυασμού εφελκυστικών και διατμητικών τάσεων. Η κατεύθυνση ανάπτυξης των μικρορωγμών είναι ίδια με την κατεύθυνση κύλισης. Στην εικόνα 3-2 η κατεύθυνση κύλισης είναι από αριστερά προς τα δεξιά.



Εικόνα 3-2. Οι τρεις φάσεις ρωγμής RCF που δημιουργήθηκε στην επιφάνεια σιδηροτροχιάς. (Πηγή: Ringsberg J.W., Loo-Morrey M., Josefson B.L., 2000).

Η ανάπτυξη των πρώιμων μικρορωγμών (χαμηλής γωνίας προσβολής) ενισχύεται από τον εγκλεισμό υγρού. Το υγρό (π.χ. νερό, γράσο κλπ.) συμπιέζει την ρωγμή και μειώνει τον συντελεστή τριβής μεταξύ των επιφανειών της ρωγμής, διευκολύνοντας την περαιτέρω ανάπτυξη της. Το νερό είναι παρόν στις σιδηροτροχιές με διάφορους τρόπους, όπως υγρασία, βροχή, διαρροές από οροφές τούνελ κ.α. Το γράσο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συντελεστή τριβής της σιδηροτροχιάς και τοποθετείται στο εσωτερικό άνω μέρος της κεφαλής, στην περιοχή δηλαδή που αναπτύσσονται κυρίως οι μικρορωγμές.

Πέρα από υγρά (νερό και γράσα) είναι δυνατός ο εγκλεισμός και στερεών σωματιδίων, π.χ. άμμου, η οποία χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο του συντελεστή τριβής της σιδηροτροχιάς (εκτοξεύεται κατά την διάρκεια φρεναρίσματος σε περιπτώσεις ολίσθησης των τροχών). Η δράση των στερεών σωματιδίων είναι ανάλογη των υγρών και υποβοηθούν την περαιτέρω διάνοιξη της μικρορωγμής στην οποία είναι εγκλεισμένα. Επίσης, παρόμοια δράση έχουν και τα προϊόντα οξείδωσης που συχνά βρίσκονται εγκλεισμένα στις μικρορωγμές.

Η ανάπτυξη μικρορωγμών RCF είναι ουσιαστικά αναπόφευκτη καθώς δεν οφείλεται σε μεταλλουργικές, μηχανικές ή θερμικές ατέλειες (μια και που θεωρητικά θα μπορούσαν να εξαλειφθούν με βελτιστοποίηση της παραγωγής και κατεργασίας του χάλυβα) αλλά στην σταδιακή κόπωση του χάλυβα και την μείωση των ιδιοτήτων του σε ένα επιφανειακό στρώμα όταν αυτό υπόκειται σε συνεχείς φορτίσεις. Η ανάπτυξη μικρορωγμών δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την πλήρη αστοχία της σιδηροτροχιάς, δηλαδή την εγκάρσια θραύση της, καθώς ένας ελάχιστος αριθμός εξ αυτών θα βρεθεί σε συνθήκες τέτοιες που να επιτρέπουν την κάθετη/ εγκάρσια ανάπτυξη της ρωγμής. Οι περισσότερες μικρορωγμές στρέφονται προς τα πάνω και δημιουργούν αποφλοιώσεις. Οι αποφλοιώσεις με την σειρά τους δημιουργούν σημεία έντασης τάσεων που μπορούν στη συνέχεια να οδηγήσουν το υλικό σε αστοχία.

3.4.1. Αντιμετώπιση προβλημάτων RCF.

Η ύπαρξη πολυάριθμων μικρορωγμών RCF στην κεφαλή μιας σιδηροτροχιάς ενέχει τον κίνδυνο ολικής αστοχίας και πρέπει να αντιμετωπίζεται ανάλογα στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης ατελειών σιδηροτροχιών. Η δημιουργία των μικρορωγμών RCF μπορεί να αντιμετωπισθεί, έμμεσα, με τους ακόλουθους τρόπους:

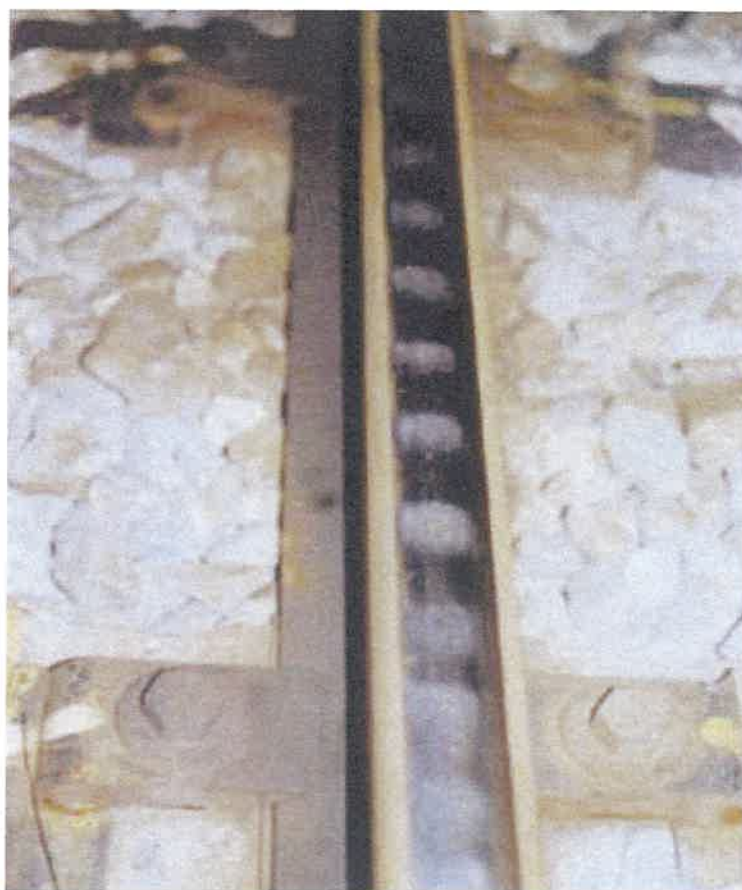
α) Reprofilng - grinding (επαναφορά προφίλ - λείανση)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μικρορωγμές, τουλάχιστον στο αρχικό τους στάδιο, επικεντρώνονται σε μια ζώνη που έχει υποστεί πλαστική παραμόρφωση. Η αφαίρεση, με λείανση μέρος της ζώνης αυτής βελτιώνει την συμπεριφορά

και διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς με τους ακόλουθους τρόπους:

- Αφαιρείται καταπονημένο υλικό και έρχεται στην επιφάνεια υγιές υλικό που δεν έχει ρηγματώσεις και διατηρεί τις αρχικές ιδιότητες του.
- Μειώνεται το μήκος των μικρορηγματώσεων, κάτω από το κρίσιμο μέγεθος τους, ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης, παρατείνοντας έτσι την διάδοση των ρωγμών.
- Η σιδηροτροχιά αποκτά βέλτιστο προφίλ που κατανέμει καλύτερα την φόρτιση στο υγιές υλικό.

Η λείανση (grinding) των σιδηροτροχιών γίνεται κυρίως για την αφαίρεση των αυλακώσεων (corrugations, βλέπε εικόνα 3-3) και την επαναφορά του βέλτιστου προφίλ, με σκοπό τον καλύτερο κατευθυντήριο έλεγχο και την καλύτερη ποιότητα κύλισης των οχημάτων. Τα τελευταία χρόνια όμως, αναγνωρίζεται η σημασία της λειάνσεως και για τον έλεγχο των ρωγμών RCF.



*Εικόνα 3-3. Αυλακώσεις (corrugations) σε σιδηροτροχιά.
(Πηγή: Ringsberg J.W., Loo-Morrey M., Josefson B.L., 2000).*

β) Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της σιδηροτροχιάς

Τα προβλήματα RCF μπορούν να περιορισθούν ή τουλάχιστον να διευρυνθεί η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς με κατάλληλο σχεδιασμό του προφίλ της σιδηροτροχιάς ώστε να μη αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις ή οι

φορτίσεις να κατανέμονται καλύτερα. Επίσης, οι καμπύλες σιδηροτροχιές μπορούν να δεχθούν την κατάλληλη κλίση ώστε να επέλθουν παρόμοια αποτελέσματα. Στην κατηγορία της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού της σιδηροτροχιάς περιλαμβάνονται και οι νέες σχεδιάσεις όπως οι σύνθετες (δύο υλικά) σιδηροτροχιές (INFRASTAR EU 5th Framework project) και οι σιδηροτροχιές που έχουν υποστεί σκλήρυνση κεφαλής.

3.5. Ανίχνευση των Ατελειών.

Ο οπτικός έλεγχος, με τη βοήθεια ενός καθρέφτη για να ελέγχουμε κάτω από την κεφαλή για διαχωρισμούς κεφαλής και κορμού και ούτω καθ' εξής, μπορεί να ανακαλύψει φανερές ατέλειες –κατακόρυφες διασπάσεις κεφαλών, απότομες θραύσεις, σπασίματα μορφής μισοφέγγαρου, αποφλοιώσεις και ούτω καθ' εξής – αλλά είναι τελείως ανεπαρκής για να ανιχνεύσει εγκάρσιες ατέλειες που σπάνια εμφανίζονται εξωτερικά της σιδηροτροχιάς πριν από τη θραύση. Χρειάζονται επίσης βοηθητικά μέσα τα οποία θα ανιχνεύσουν την παρουσία μιας ατέλειας εντός της κεφαλής της σιδηροτροχιάς και θα δώσουν μια αποτυπωμένη καταγραφή της θέσης της στην τροχιά. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα ανίχνευσης που προσαρμόζονται στα βαγόνια της σιδηροτροχιάς και παράγουν ταινίες υπό κλίμακα για την υπό εξέταση απόσταση.

Από τη στιγμή που τα οχήματα και οι συσκευές ανίχνευσης θα υποδείξουν την παρουσία οποιουδήποτε είδους σχισμής καθώς και άλλων ατελειών, συμπεριλαμβανομένων των προοδευτικών θραύσεων κάτω από τα καψίματα του κινητήρα, η χρήση τους είναι πιθανόν να συνεχιστεί ακόμη και αν ολόκληρη η σιδηροτροχιά που έχει χρησιμοποιηθεί στη γραμμή έχει κατασκευαστεί υπό ελεγχόμενη ψύξη.

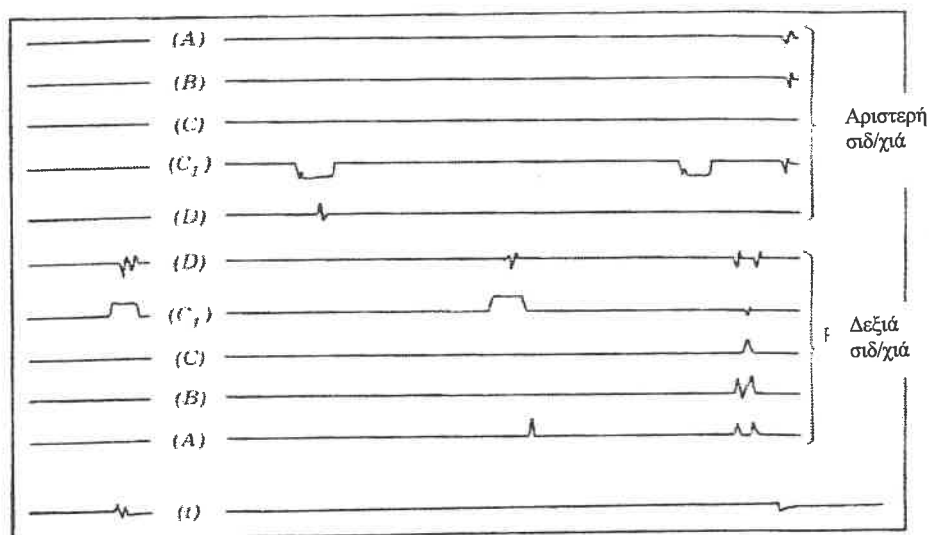
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των ατελειών είναι:

1. Μέθοδος Επαγωγής

Χρόνια πριν την ανάπτυξη της ελεγχόμενης ψύξης, η ανάγκη για την ανίχνευση των εγκάρσιων σχισμών ήταν έκδηλη. Μια δαπανηρή διαδικασία ήταν αυτή που περιελάμβανε καταγραφή όλων των εγκάρσιων σχισμών μέσω θερμότητας. Όταν τρεις ή περισσότερες σχισμές συνέβαιναν σε κάποια θερμότητα, όλες οι σιδηροτροχιές αυτής της θερμότητας αποσύρονταν από τις κύριες σιδηροδρομικές γραμμές.

Ένα όχημα ανίχνευσης ατελειών σιδηροτροχιάς έγινε επίσημα δεκτό από την AAR μετά από μια σειρά δοκιμών τον Οκτώβριο του 1928. Ένα υψηλό ηλεκτρικό ρεύμα των 2000-3000 Αμπέρ σε χαμηλή τάση εξαναγκάζεται μέσα στη σιδηροτροχιά μέσω χάλκινων βουρτσών που βρίσκονται στο μπροστινό μέρος του οχήματος και επιστρέφει στη γεννήτρια μέσω ενός άλλου συνόλου από βούρτσες στο πίσω μέρος του οχήματος. Οι ανομοιομορφίες στην κεφαλή

της σιδηροτροχιάς προκαλούν μια παραμόρφωση στη διάταξη του πεδίου μέσω του ρεύματος και περικυκλώνει τη σιδηροτροχιά. Αυτές οι παραμορφώσεις συλλέγονται από ηλεκτρονικά πηνία που κινούνται σε ένα βαγόνι πάνω από την σιδηροτροχιά και υποδεικνύονται μέσω ηλεκτρονικών ενισχυτών οι οποίοι αυξάνουν την ισχύ των διεγέρσεων τόσο ώστε να είναι ικανές να διευθύνουν γραφίδες για μια καταγραφή σε χάρτινη ταινία. Δύο ζεύγη γραφίδων, ένα ζεύγος για κάθε σιδηροτροχιά, υποδεικνύουν την θέση των συναρμογών της σιδηροτροχιάς, τις διακυμάνσεις του ρεύματος, και τα χαρακτηριστικά σημεία (σχήμα 3.16).



Σχήμα 3.16. ταινία καταγραφής από βαγόνι ανίχνευσης σιδηροτροχιάς. Τα διπλά διακριτικά σημεία στα A και B υποδεικνύουν ατέλεια της σιδηροτροχιάς. A, πηνίο πάνω στην πλευρά δράσης της σιδηροτροχιάς, B, πηνίο στην πλευρά κυλίσεως της σιδηροτροχιάς, C, κέντρο της σιδηροτροχιάς, C₁, μη ευαίσθητο φάσμα για τα πηνία C για πολύ μεγάλα ελαττώματα, D, καψίματα της σιδηροτροχιάς και εγκάρσια ελαττώματα. Το t αντιπροσωπεύει μεσοδιαστήματα 5-δευτερολέπτων και ορόσημα. Η πραγματική ταινία έχει 3 3/4 ίντσες πλάτος.

(Πηγή: "Stresses in the Rails, the Ballast and in the Formation Resulting from Traffic Loads").

Για την ανίχνευση σχισμών κάτω από τα καψίματα του κινητήρα τοποθετούνται πρόσθετα πηνία ανίχνευσης που σχηματίζουν γωνία με τις άλλες συνθήκες καταγραφής κάτω από το κάψιμο και υποδεικνύονται σε μια ξεχωριστή γραμμή πάνω στην ταινία. Μια ένδειξη και στις δύο γραμμές σηματοδοτεί μια πιθανή ατέλεια.

Η ταχύτητα που χρησιμοποιείται στις δοκιμές είναι περίπου 12μ.α.ω. Όχι μόνο καταγράφονται οι ατέλειες πάνω στην ταινία αλλά επίσης ένα πολυβόλο με βογιά εκτοξεύει μια σταγόνα από άσπρη βογιά πάνω στη σιδηροτροχιά στο σημείο της ατέλειας (στις χιονισμένες περιοχές η βογιά είναι κόκκινη). Όταν υποδεικνύεται μια σχισμή, πραγματοποιείται ένας επιτόπιος έλεγχος. Ένα ισχυρό ρεύμα στέλνεται διαμέσου 3-4 ποδιών σιδηροτροχιάς γύρω από την

ύποπτη περιοχή. Η κάθετη πτώση του δυναμικού κατά μήκος ενός κενού $\frac{1}{2}$ ίντσας εξετάζεται από τα μέσα δύο μεταλλικών επαφών τοποθετημένες $\frac{1}{2}$ ίντσα μακριά και προσκολλημένες σε ένα χλίοστοβολτάμετρο. Μπορεί να προσδιοριστεί ακριβής τοποθεσία, καθώς πάνω από μια σχισμή η πτώση του δυναμικού φτάνει ραγδαία σε ένα μέγιστο καθώς η αντίσταση αυξάνει λόγω της μείωσης στην εγκάρσια τομή από την σχισμή. Το ποσό της αύξησης της πτώσης του δυναμικού είναι κατά προσέγγιση ανάλογο του μεγέθους της σχισμής.

Τα οχήματα Sperry διευθύνονται από την Sperry Rail Service μετά από συμφωνία με μεμονωμένους σιδηροδρόμους (εικόνα 3-4).

2. Μέθοδος Παραμένοντα Μαγνητικού.

Μετά τις βελτιώσεις της μεθόδου Sperry η AAR σχεδίασε ένα όχημα που χρησιμοποιεί μια διαφορετική αρχή ανίχνευσης. Το όχημα ανίχνευσης που σχετίζεται με το παραμένοντα μαγνητικό ανακαλύφθηκε από τον W.C.Barnes, μηχανικό δοκιμών για το Rail Investigation Committee, και τον H.W.Keevil, βοηθό μηχανικού για την AAR. Το πρώτο όχημα δοκιμάστηκε επιτυχώς στο Denver and Rio Grande Western Railway, στις 3 Μαΐου 1939.

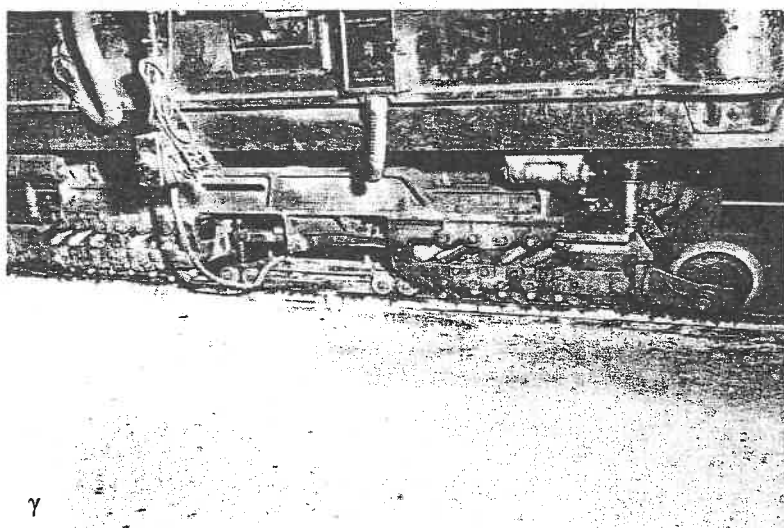
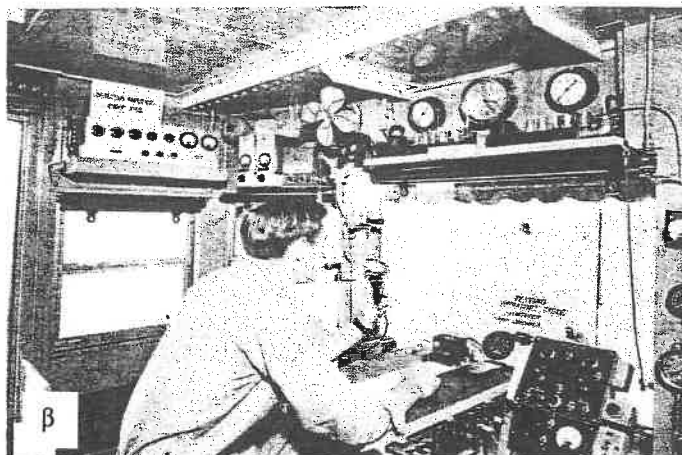
Τα οχήματα της AAR κάνουν χρήση της αρχής του παραμένοντα μαγνητισμού. Μια κατά μήκος μαγνητισμένη σιδηροτροχιά έχει δύο πόλους ευδιάκριτους από μια πυξίδα που τοποθετείται κοντά σε αυτή. Μια ανομοιομορφία όπως μια σχισμή φορτίζει τα τοπικά μαγνητικά πεδία με μια πολικότητα αντίθετη από αυτή της σιδηροτροχιάς, η οποία θα επηρεάσει την πυξίδα.

Στον επιτόπιο εξοπλισμό μια συσκευή μαγνητισμού, που περνά κατά μήκος της σιδηροτροχιάς σε μια πάγια απόσταση από την μεταφορική επιφάνεια, μαγνητίζει τη σιδηροτροχιά. Πηνία ανίχνευσης συνδεδεμένα σε ένα καταγραφικό μετρητή κινούνται κατά μήκος της σιδηροτροχιάς, ένα ασθενές ρεύμα επάγεται στα πηνία ανίχνευσης από οποιαδήποτε ανομοιομορφία στην εγκάρσια τομή της σιδηροτροχιάς και μεγεθύνεται, έτσι παράγεται μια καταγραφή σε ταινία. Έπειτα απομαγνητιστές απομακρύνουν τον παραμένοντα μαγνητισμό από τη σιδηροτροχιά. Το όχημα της AAR είναι διαθέσιμο σε σιδηροδρόμους που είναι μέλη, οι οποίοι μετά από έγκριση μπορούν να κατασκευάσουν και να διαχειρίζονται δικά τους οχήματα.

3. Υπερηχητικές Μέθοδοι. περὶ καὶ αὐτῶν ←

Ούτε οι επαγωγικές μέθοδοι ούτε και η μέθοδος του παραμένοντα μαγνητικού δεν είναι ικανοποιητικές για τον έλεγχο των συναρμογών της σιδηροτροχιάς εξαιτίας των ανομοιομορφιών (κοχλίες, οπές κοχλίων, ράβδοι) στην περιοχή της συναρμογής. Οι συναρμογές εξαιρούνται από το δείγμα του ελέγχου (σχήμα 3.16) έτσι ώστε να μην γίνει σύγχυση μιας ατέλειας που βρίσκεται κοντά στην περιοχή της συναρμογής με αυτές τις ανομοιομορφίες της

συναρμογής, η οποία ειδάλλως θα καταγραφόταν.



εικόνα 3-4. (β) καμπίνα του χειριστή του οχήματος ανίχνευσης, (γ) βαγόνι και μονάδα εξέτασης του οχήματος ανίχνευσης.

Η υπερηχητική ανίχνευση είναι προσιτή για τον έλεγχο στις περιοχές των συναρμογών. Υπερηχητικοί μεταγωγοί από κρύσταλλο χαλαζία εισάγουν ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας μέσα στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς και αντανακλώνται πίσω σε έναν πιεζοηλεκτρικό δέκτη με διακυμάνσεις στην ένταση του σήματος και στο βήμα εξαρτάται από τη γεωμετρία της εγκάρσιας τομής της σιδηροτροχιάς. Λάδι ή νερό (συνήθως νερό) συνιστούν το μέσο επαφής μεταξύ της σιδηροτροχιάς και του μεταγωγού. Μια αψεγάδιαστη συναρμογή θα έχει ένα αναγνωρίσιμο ηχητικό, οπτικό, ή διαγραμματικό μοντέλο. Οι ατέλειες υποδεικνύονται μέσω των αποκλίσεων από αυτό το χαρακτηριστικό μοντέλο.

Η γωνία με την οποία εισάγεται ο ήχος συνιστά την περιοχή ανίχνευσης. Μια προβολή γωνίας 70 μοιρών επιτρέπει τον έλεγχο μόνο εντός της περιοχής της κεφαλής, αλλά σε γωνίες 30 και 45 μοιρών οι κρύσταλλοι εισχωρούν μέσα στις περιοχές του κορμού και της βάσης για την ανίχνευση και των κατακόρυφων

και οριζόντιων ατελειών. Με πολλαπλές συγκρίσεις κρυστάλλων διαφορετικών γωνιών, η σιδηροτροχιά μπορεί να ελεγχθεί και στην κεφαλή για εγκάρσιες ατέλειες και ολόκληρη για ατέλειες του κορμού, σπασίματα των οπών των κοχλιών, διαχωρισμούς κεφαλής-κορμού, κατακόρυφα και οριζόντια διαχωρισμένες κεφαλές, σωληνώσεις, και για άλλα είδη ατελειών και ανομοιομορφιών στην εγκάρσια τομή. Οι υπερηχητικές μέθοδοι έχουν συνδυαστεί με τις επαγωγικές μεθόδους στο ίδιο όχημα και με τις μεθόδους παραμένοντα μαγνητικού ώστε να εξασφαλιστεί ανίχνευση ολόκληρου του μήκους της σιδηροτροχιάς.

Μια πιο πρώιμη φορητή συσκευή που μεταφέρεται και διαχειρίζεται από ένα άτομο χρησιμοποιούσε έναν κρύσταλλο για να μεταδίδει έναν ήχο υπέρ-υψηλής συχνότητας μέσα στη σιδηροτροχιά. Η αντήχηση από μια καλή σιδηροτροχιά ακούγεται στα ακουστικά του χειριστή ως ένας τόνος υψηλής εντάσεως. Οι ατέλειες υποδεικνύονται από έναν τόνο χαμηλής εντάσεως. Με αυτή τη συσκευή μπορούν να ελεγχθούν περίπου 40 συναρμογές ανά ώρα.

4. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ:ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ UIC.

4.1. Αστοχίες Σιδηροτροχιών.

Στις παραγράφους του προηγούμενου κεφαλαίου περιγράφηκαν οι μηχανισμοί ανάπτυξης ατελειών στις σιδηροτροχιές οι οποίες ευθύνονται για την παραπέρα αστοχία της σιδηροτροχιάς καθώς και κάποια είδη τους που οφείλονται στις τάσεις επαφής (όλα τα είδη περιγράφονται πιο κάτω). Οι αστοχίες στις σιδηροτροχιές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες:

α) Αστοχίες λόγω κατασκευαστικών ατελειών.

Οι αστοχίες της κατηγορίας αυτής οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες. Οι κατασκευαστές σιδηροτροχιών εφαρμόζουν σειρά δοκιμών πριν την παράδοση τους. Τέτοιες δοκιμές είναι:

1. **(Visual Testing):** Η αυτόματη οπτική παρατήρηση της επιφάνειας και η επεξεργασία εικόνας για ανίχνευση επιφανειακών ατελειών.
2. **(Flatness Testing):** Η χρήση laser για διαπίστωση της κάθετης και οριζόντιας "ευθύτητας" της σιδηροτροχιάς.
3. **(Eddy Current Testing):** Η χρήση δυνάμεων σε όλο το μήκος της κεφαλής και της βάσης της σιδηροτροχιάς για ανίχνευση ατελειών κοντά στην επιφάνεια.
4. **(Ultrasonic Testing):** Η χρήση υπερήχων για την ανίχνευση εσωτερικών ατελειών / ασυνεχειών.

Παρά την ολοκληρωμένη εφαρμογή δοκιμών στο επίπεδο του κατασκευαστή συχνά, ατέλειες όπως εσωτερικές ρωγμές που οφείλονται στην παγίδευση υδρογόνου κατά την διάρκεια της κατασκευής του χάλυβα, μπορούν να γίνουν σημεία έντασης τάσης και να προκαλέσουν την αστοχία της σιδηροτροχιάς.

β) Αστοχίες λόγω πλημμελούς τοποθέτησης και χρήσης

Οι αστοχίες της κατηγορίας αυτής προέρχονται από μη σωστή τοποθέτηση της σιδηροτροχιάς (εκτός προδιαγραφών) ή μη ενδεδειγμένη χρήση της, π.χ. χτυπήματα, ή καψίματα από τροχούς. Τα καψίματα από τροχό έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην μικροδομή της επηρεασμένης περιοχής καθώς αναπτύσσονται στιγμιαία μεγάλες θερμοκρασίες που επιφέρουν θερμικές καταπονήσεις και μετασχηματισμούς φάσεων.



Εικόνα 4-1. Επιφανειακά χτυπήματα που οφείλονται σε καψίματα των τροχών.
(Πηγή: Ringsberg J.W., Loo-Morrey M., Josefson B.L., 2000).

γ) Εξάντληση των ορίων κόπωσης του μετάλλου της σιδηροτροχιάς

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει αρκετές από τις συνηθισμένες ατέλειες των σιδηροτροχιών όπως τις ρηγματώσεις κεφαλής (Εικόνα 4-2) που σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε εγκάρσιες ρωγμές και θραύση της σιδηροτροχιάς (Εικόνα 4-3).



Εικόνα 4-2. Ανάπτυξη ρωγμών κεφαλής (head checks λόγω κόπωσης εξ επαφής).
(Πηγή: Ringsberg J.W., Loo-Morrey M., Josefson B.L., 2000).



*εικόνα4-3. Εγκάρσια ρωγμή και επακόλουθη αστοχία σιδηροτροχιάς που προέρχεται από αλλαγή κατεύθυνσης ρωγμής κεφαλής head check
(Πηγή: Ringsberg J.W., Loo-Morrey M., Josefson B.L., 2000).*

4.2. Κατάταξη Ατελειών κατά UIC.

Οι περισσότεροι σιδηροδρομικοί φορείς χρησιμοποιούν την σειρά καταλόγων της Διεθνούς Ένωσης Σιδηροδρόμων (International Union of Railways). Ο κώδικας UIC (2002) Handbook of Rail Defects 712R (4th Edn) αναφέρεται στην ταξινόμηση των ατελειών που παρουσιάζονται στις σιδηροτροχιές σύμφωνα με τη θέση τους, την εμφάνισή τους και το αίτιο δημιουργίας τους [1]. Περιγράφει επίσης μέσα και τρόπους ανίχνευσης τέτοιων ατελειών και προτείνει τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπισή τους.

Επιγραμματικά, το σύστημα ταξινόμησης UIC περιγράφει θραυσμένες, ρηγματωμένες ή παραμορφωμένες σιδηροτροχιές και συγκολλήσεις, και χρησιμοποιεί 4ψήφια κωδικοποίηση. Το πρώτο ψηφίο υποδεικνύει την θέση της ατέλειας στην σιδηροτροχιά (1 = άκρη της σιδηροτροχιάς, 2 = μακριά από την άκρη), άλλες ειδικές ατέλειες (3 = ατέλειες από ζημιά στις σιδηροτροχιές), ή ατέλειες συγκολλήσεων και επαναφορά επιφανειών (= 4). Το δεύτερο ψηφίο αναφέρεται στη θέση στην διατομή της σιδηροτροχιάς όπου ξεκίνησε η ατέλεια, ή στην περίπτωση των συγκολλήσεων, τον τρόπο συγκόλλησης. Το τρίτο ψηφίο καθορίζει την γεωμετρία της ρωγμής, τον τύπο της ατέλειας, από που προέρχεται ή την αιτία. Το τέταρτο ψηφίο χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις για περαιτέρω διάκριση.

Στους πίνακες 4-1 και 4-2 που ακολουθούν παρουσιάζεται το γενικό σύστημα κωδικοποίησης των ατελειών της σιδηροτροχιάς καθώς και η κατάταξη των διαφόρων ατελειών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1. Σύστημα κωδικοποίησης των ατελειών σιδηροτροχιάς.**1ο ψηφίο****2ο ψηφίο****3ο ψηφίο****4ο ψηφίο**

Κατάσταση
1. Άκρα σιδηροτροχιάς
2. Μακριά από το άκρα σιδηροτροχιάς

Θέση
0. Σε όλο το τμήμα
1. Κεφαλή σιδηροτροχιάς
3. Κορμός
5. Πέλμα

2. Επιφάνεια της κεφαλής της σιδηροτροχιάς
--

Θέση
0. Σε όλο το τμήμα

3. Αστοχίες που οφείλονται σε φθορά της σιδηροτροχιάς

Μέθοδος συγκόλλησης
1. Ηλεκτροθερμική συγκόλληση
2. Αλουμινοθερμική συγκόλληση
3. Συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο
4. Οξυακετυλενική (αυτογενής) συγκόλληση
5. Συγκόλληση με πιεσιμένο αέριο
6. Επαγωγική συγκόλληση
7. Επαναφορά επιφάνειας
8. Άλλες μέθοδοι συγκόλλησης

4. Αστοχίες κόλλησης και επαναφοράς επιφάνειας
--

Διάταξη, φύση
1. Εγκάρσια
2. Οριζόντια
3. Διαμήκης κατακόρυφη
4. Διάβρωση
5. Πέρασμα μέσα από οπή
6. Μη πέρασμα μέσα από οπή
9. Πτυχή

0. Φθορά
1. Επιφανειακές αστοχίες
2. Αποφλοίωση
3. Σύθλιψη
4. Τοπικό χτύπημα
5. Κάψιμο από τροχό
7. Σπάσιμο και τοπική καθίζηση της επιφάνειας κύλισης

Πρόελευση, αίτιο
1. Χτύπημα
2. Ελαττωματική μεταλλουργική κατεργασία
3. Μόνιμη παραμόρφωση

Επιπλέον χαρακτηριστικά και διαφοροποιήσεις

(δεν υπάρχει 4 ^ο ψηφίο)

Διάταξη, φύση
1. Εγκάρσια
2. Οριζόντια ή αποφλοίωση

Πρόσθετα χαρακτηριστικά και διαφοροποιήσεις

4.2.1. Προσδιορισμός των ατελειών της σιδηροτροχιάς.

Οι ατέλειες που μπορούν να εμφανιστούν στη σιδηροτροχιά στη γραμμή είναι οι ακόλουθες:

- φθαρμένη σιδηροτροχιά,
- ραγισμένη σιδηροτροχιά,
- σπασμένη σιδηροτροχιά.

Φθαρμένη σιδηροτροχιά: Φθαρμένη χαρακτηρίζεται μία σιδηροτροχιά η οποία δεν είναι ούτε ραγισμένη ούτε σπασμένη, αλλά παρουσιάζει άλλες ατέλειες, κυρίως επιφανειακές.

Ραγισμένη σιδηροτροχιά: Ραγισμένη χαρακτηρίζεται μία σιδηροτροχιά η οποία, σε κάποιο σημείο της και ανεξάρτητα από τα τμήματα του προφίλ της που ενέχονται, παρουσιάζει μία ή περισσότερες ακανόνιστες ρωγμές, εμφανές ή όχι, η εξέλιξη των οποίων μπορεί να οδηγήσει σε ραγδαίο σπάσιμο της σιδηροτροχιάς.

Σπασμένη σιδηροτροχιά: Σπασμένη χαρακτηρίζεται μία σιδηροτροχιά η οποία έχει διαχωριστεί σε δύο ή περισσότερα τμήματα, ή μία σιδηροτροχιά από την οποία αποκολλάται ένα κομμάτι μετάλλου, δημιουργώντας ρωγμή μεγαλύτερη από 50 χιλιοστά σε μήκος και μεγαλύτερη από 10 χιλιοστά σε βάθος στην επιφάνεια κύλισης.

4.2.2 Προσδιορισμός των προτεινόμενων ενεργειών επιδιόρθωσης.

Οι ενέργειες που προτείνονται για την επιδιόρθωση των ατελειών είναι οι εξής:

Διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό έλεγχο

Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις αστοχιών οι οποίες, στο συγκεκριμένο στάδιο, δεν αποτελούν κίνδυνο για τη λειτουργία.

Απόσυρση της σιδηροτροχιάς

Απόσυρση της σιδηροτροχιάς σε περίπτωση ενός περιοδικού ή προγραμματισμένου ελέγχου συντήρησης. Εφαρμόζεται σε αστοχίες οι οποίες δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για τη λειτουργία, αλλά μπορούν να εξελιχθούν σε πιθανό κίνδυνο μετά την ημερομηνία αφαίρεσης.

Άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς

Επιτακτική απόσυρση της σιδηροτροχιάς μέσα σε ένα χρονικό περιθώριο που ορίζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της αστοχίας και τις τοπικές συνθήκες. Αυτή η απόσυρση είναι αντικείμενο ειδικής επέμβασης.

Εφαρμόζεται σε αστοχίες οι οποίες αποτελούν κίνδυνο για τη λειτουργία, αλλά παρ' όλα αυτά η λειτουργία της γραμμής μπορεί να συνεχιστεί μετά τη λήψη των απαραίτητων μέτρων.

Απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς

Εφαρμόζεται σε αστοχίες που δεν επιτρέπουν περαιτέρω χρήση της γραμμής, ακόμα και μετά τη λήψη ειδικών προσωρινών μέτρων.

Μερικές αστοχίες σιδηροτροχιάς είναι πιθανό να χειροτερέψουν με την πάροδο του χρόνου - σ' αυτήν την περίπτωση, παρέχεται μία σειρά από προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης για την αντιμετώπιση της ενδεχόμενης επικινδυνότητας της αστοχίας στο κάθε στάδιο. Σε όλες τις περιπτώσεις, η αστοχία πρέπει να διατηρείται υπό συνεχή έλεγχο και οι προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης εφαρμόζονται μέχρι την εξάλειψη της αστοχίας.

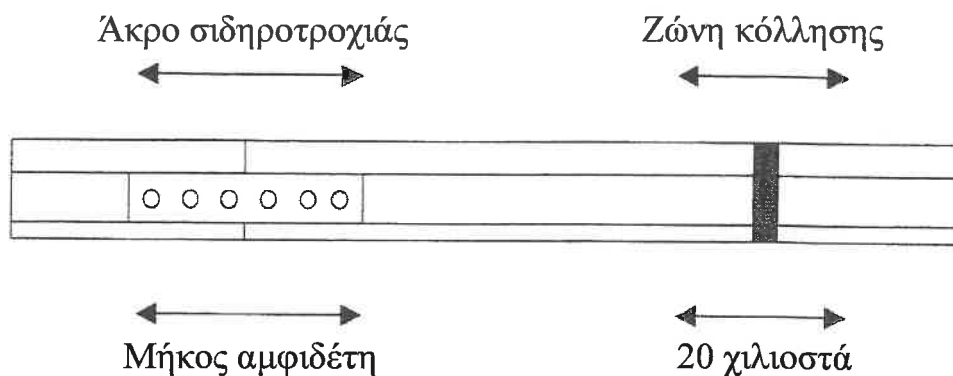
4.2.3. Προσδιορισμός της θέσης των αστοχιών.

Οι αστοχίες σιδηροτροχιάς μπορεί να εμφανίζονται στα άκρα των σιδηροτροχιών, μακριά από τα άκρα των σιδηροτροχιών ή στις ζώνες κολλήσεων (σχήμα 4.0).

Άκρο σιδηροτροχιάς: Το τμήμα της σιδηροτροχιάς που βρίσκεται στο επίπεδο των αμφιδετών.

Ζώνη μακριά από το άκρο της σιδηροτροχιάς: Η ζώνη που περιλαμβάνει όλα τα τμήματα της σιδηροτροχιάς που βρίσκονται μακριά από τα άκρα της σιδηροτροχιάς και από τις ζώνες κολλήσεων.

Ζώνη κόλλησης: Η ζώνη κόλλησης εκτείνεται 10 εκατοστά προς κάθε πλευρά του κεντρικού άξονα της κόλλησης, συνολικά 20 εκατοστά. Κάθε αστοχία εσωτερικής προέλευσης που παρουσιάζεται στη ζώνη αυτή πρέπει να θεωρείται αστοχία κόλλησης. Οι αστοχίες εξωτερικής προέλευσης πρέπει να κατατάσσονται σύμφωνα με τους δικούς τους συγκεκριμένους κωδικούς.



Σχήμα 4.0.
(Πηγή: UIC Code, 712R).

4.2.4. Ταξινόμηση και Αρίθμηση των Αστοχιών Σιδηροτροχιάς.

Με βάση λοιπόν τον πίνακα 4-1 καθώς και τα όσα προαναφέρθηκαν οι αστοχίες αριθμούνται και ταξινομούνται ως εξής:

1 Αστοχίες στα άκρα των σιδηροτροχιών

- 10 Πλήρης σιδηροτροχιά
- 100 Εγκάρσιο σπάσιμο χωρίς εμφανή προέλευση
- 11/12 Κεφαλή
- 111 Προοδευτική εγκάρσια ρηγμάτωση (ρωγμή κόπωσης σε σχήμα νεφρού)
- 112 Οριζόντια ρηγμάτωση
- 113 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση
- 121 Επιφανειακές αστοχίες
- 122 Αποφλοίωση της επιφάνειας κύλισης
- 123 Σύνθλιψη
- 124 Τοπικές ανωμαλίες της επιφάνειας κύλισης
- 125 Καψίματα από τροχούς
- 13 Κορμός
- 132 Οριζόντια ρηγμάτωση
 - 1321 στην άνω καμπύλη του κορμού
 - 1322 στην κάτω καμπύλη του κορμού
- 133 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση (σωλήνωση)
- 134 Διάβρωση
- 135 Αστεροειδής ρηγμάτωση στις οπές του αμφιδέτη
- 139 Επικάλυψη (πτυχή)
- 15 Πέλμα
- 153 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση
- 154 Διάβρωση

2 Αστοχίες μακριά από τα άκρα των σιδηροτροχιών

- 20 Πλήρης σιδηροτροχιά
- 200 Εγκάρσιο σπάσιμο χωρίς εμφανή προέλευση
- 21/22 Κεφαλή
- 211 Προοδευτική εγκάρσια ρηγμάτωση (ρωγμή κόπωσης σε σχήμα νεφρού)
- 212 Οριζόντια ρηγμάτωση
- 213 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση
- 220 Φθορά:
 - 2201 Κυμάτωση μικρού μήκους κύματος
 - 2202 Κυμάτωση μεγάλου μήκους κύματος
 - 2203 Πλάγια φθορά
 - 2204 Ασυνήθιστη κατακόρυφη φθορά

- 221 Επιφανειακές αστοχίες
- 222 Αποφλοίωση
 - 2221 Αποφλοίωση της επιφάνειας κύλισης
 - 2222 Αποφλοίωση της γωνίας κύλισης
 - 2223 Ανακοπή κεφαλής/ δημιουργία σχισμών/ κλιμάκωση στη γωνία κύλισης
- 223 Σύνθλιψη
- 224 Τοπικές ανωμαλίες της επιφάνειας κύλισης
- 225 Καψίματα από τροχούς
 - 2251 Απομονωμένα καψίματα τροχών
 - 2252 Επαναλαμβανόμενα καψίματα τροχών
- 227 Ρηγμάτωση και τοπική συμπίεση της επιφάνειας κύλισης
- 23 Κορμός
- 232 Οριζόντια ρηγμάτωση
 - 2321 στην άνω καμπύλη του κορμού
 - 2322 στην κάτω καμπύλη του κορμού
- 233 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση (σωλήνωση)
- 234 Διάβρωση

- 239 Επικάλυψη (πτυχή)
- 235 Ρηγμάτωση γύρω από τις οπές του αμφιδέτη
- 236 Διαγώνια ρηγμάτωση μακριά από κάθε οπή
- 25 Πέλμα
- 253 Διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση
- 254 Διάβρωση

- 3 Αστοχίες που οφείλονται σε φθορά της σιδηροτροχιάς**
- 30 Πλήρης σιδηροτροχιά
- 301 Χτυπήματα
- 302 Ελαττωματική μεταλλουργική κατεργασία
- 303 Μόνιμη παραμόρφωση (στρέβλωση)

- 4 Αστοχίες κόλλησης και επαναφοράς επιφάνειας**
- 41 Ηλεκτροθερμική συγκόλληση
- 411 Εγκάρσια ρηγμάτωση του προφίλ
- 412 Οριζόντια ρηγμάτωση του κορμού
- 42 Αλουμινοθερμική συγκόλληση
- 421 Εγκάρσια ρηγμάτωση του προφίλ
- 422 Οριζόντια ρηγμάτωση του κορμού
- 43 Συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο
- 431 Εγκάρσια ρηγμάτωση του προφίλ
- 432 Οριζόντια ρηγμάτωση του κορμού
- 44 Οξυακετυλενική συγκόλληση (με επιφύλαξη)

- 45 Συγκόλληση με πεπιεσμένο αέριο (με επιφύλαξη)
- 46 Επαγωγική συγκόλληση (με επιφύλαξη)
- 47 Επαναφορά επιφάνειας
- 471 Εγκάρσια ρηγμάτωση της κεφαλής
- 472 Αποκόλληση ή αποφλοίωση του επαναφερόμενου τμήματος
- 48 Άλλες μέθοδοι συγκόλλησης
- 481 Εγκάρσια ρηγμάτωση σε γεφύρωση

4.2.4.1. Αστοχίες στα Άκρα των Σιδηροτροχιών.

11/12 ΚΕΦΑΛΗ

112 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

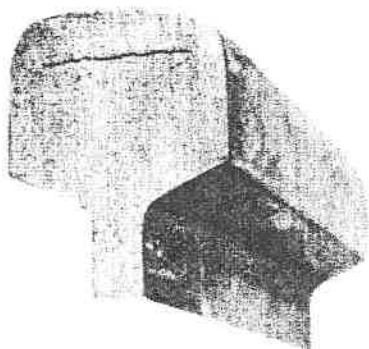
Χαρακτηρίζεται από τη σταδιακή αποκόλληση του πάνω μέρους της κεφαλής της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-3α). Ξεκινά από το εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς και αναπτύσσεται παράλληλα προς την επιφάνεια κύλισης. Μια μικρή ρωγμή εμφανίζεται στο ένα ή και στα δύο πρόσωπα της κεφαλής και στο τελικό πρόσωπο στο κενό του αρμού διαστολής. Μερικές φορές συνοδεύεται από κατακόρυφη ρηγμάτωση (εικόνα 4-3β). αυτή η ρηγμάτωση μπορεί να συνοδεύεται από σύνθλιψη του άκρου της σιδηροτροχιάς. Σε μεταγενέστερο στάδιο μπορεί να αποκολληθεί ένα κομμάτι μετάλλου (εικόνα 4-3γ).

Μέσα ανίχνευσης:

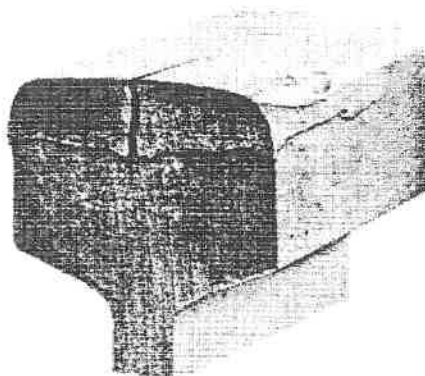
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με σφυρί,
- έλεγχος με υπερήχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση ραγισμένης σιδηροτροχιάς υπό παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-3α



Εικόνα 4-3β



Εικόνα 4-3γ
(Πηγή: UIC CODE, 712R)

113 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

Αυτή η ρηγμάτωση τείνει να διαχωρίσει σταδιακά την κεφαλή σε δύο τμήματα, ακολουθώντας πορεία παράλληλη προς τον κορμό της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-4). Όταν η αστοχία φτάσει στην επιφάνεια κύλισης, γίνεται αναγνωρίσιμη από μία μαύρη γραμμή στην επιφάνεια. Τότε παρατηρείται μία συμπίεση της επιφάνειας κύλισης, καθώς και μία διαπλάτυνση της κεφαλής ανάλογη με το άνοιγμα της ρωγμής.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με σφυρί,
- σε περίπτωση αμφιβολιών, αφαίρεση των αμφιδετών και επιθεώρηση καμπύλης περιοχής μεταξύ κεφαλής και κορμού,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-4.
(Πηγή: UIC CODE, 712R.)

122 ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Αυτή η αστοχία, που ξεκινά από την επιφάνεια, χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μιας μικρής ρωγμής στο εξωτερικό πρόσωπο της κεφαλής στον αρμό διαστολής, λίγα χιλιοστά κάτω από την επιφάνεια κύλισης. Μερικές φορές συνδυάζεται με μια ανεπαίσθητη σύνθλιψη του άκρου της σιδηροτροχιάς και τη δημιουργία ενός μικρού χείλους στην οπή ανάλογο με την εξώθηση του μετάλλου.

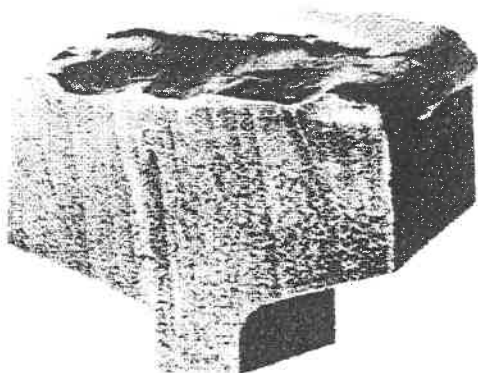
Σε μεταγενέστερο στάδιο, μπορεί να αποκολληθεί ένα κομμάτι μετάλλου.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με σφυρί,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- επιδιόρθωση μέσω επαναφορά επιφάνειας,
- απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



(Πηγή: UIC CODE, 712R)

123 ΣΥΝΘΛΙΨΗ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

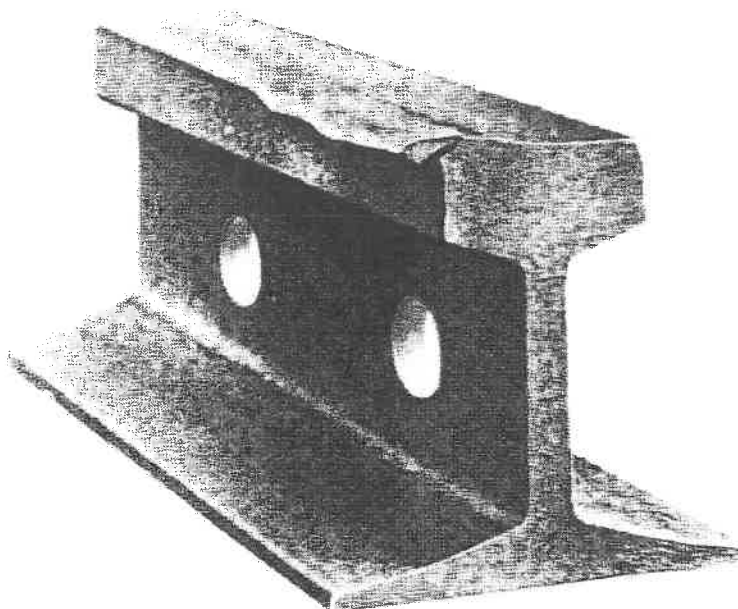
Παρατηρείται μία συμπίεση της επιφάνειας κύλισης, καθώς και μία διαπλάτυνση της γωνίας κύλισης. Το μέταλλο εξωθείται πλευρικά και μερικές φορές προς το άκρο της σιδηροτροχιάς. Σε ακραίες περιπτώσεις, σχηματίζεται ένα χείλος που τείνει να αποσπαστεί από τη σιδηροτροχιά.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή έλεγχο,
- λείανση του χείλους όπου είναι απαραίτητο,
- επιδιόρθωση μέσω επαναφοράς επιφάνειας.



Εικόνα 4-6.
(Πηγή: UIC CODE, 712R)

132 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

1321 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

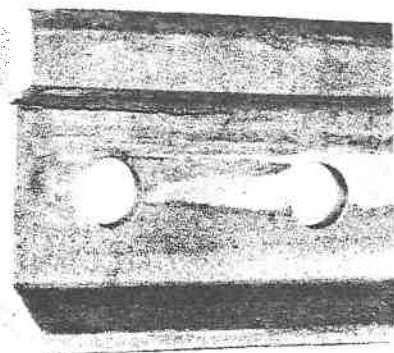
Αυτή η ρωγή δημιουργείται στο άκρο της σιδηροτροχιάς και τείνει να διαχωρίσει την κεφαλή από τον κορμό. Αρχικά εξελίσσεται παράλληλα προς την ένωση κεφαλής – κορμού (εικόνα 4-7α) και μπορεί, καθώς αναπτύσσεται, να στρίψει είτε προς τα πάνω (εικόνα 4-7β) είτε προς τα κάτω, περνώντας σε μερικές περιπτώσεις μέσα από τις οπές των αμφιδετών (εικόνα 34-7γ) είτε ταυτόχρονα και προς τα πάνω και προς τα κάτω (εικόνα 4-7δ). Σε κάθε περίπτωση, αυτή η ρωγή προκαλεί την αποκόλληση της κεφαλής ή οδηγεί σε κατατεμαχισμό της σιδηροτροχιάς.

Μέσα ανίχνευσης:

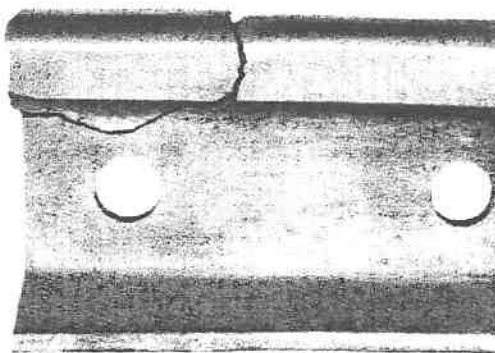
- έλεγχος με σφυρί,
- οπτικός έλεγχος και των δύο προσώπων του κορμού μετά την αφαίρεση των αμφιδετών,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

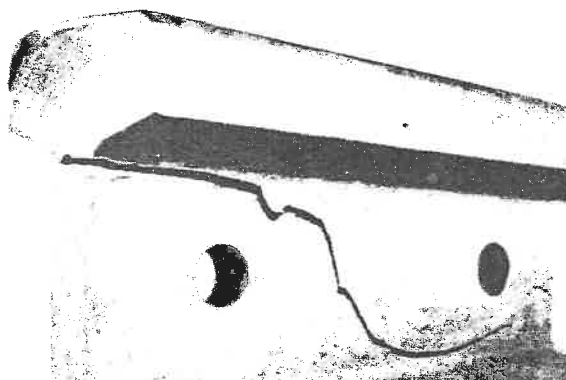
- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά : απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-7α



Εικόνα 4-7β



Εικόνα 4-7γ



εικόνα 4-7δ.

(Πηγή: UIC CODE, 712R)

1322 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

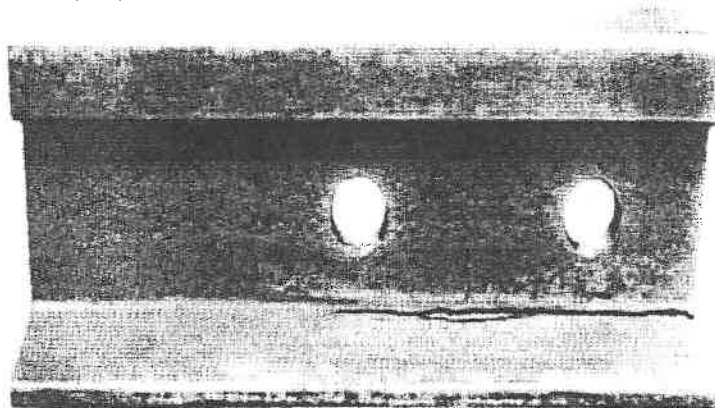
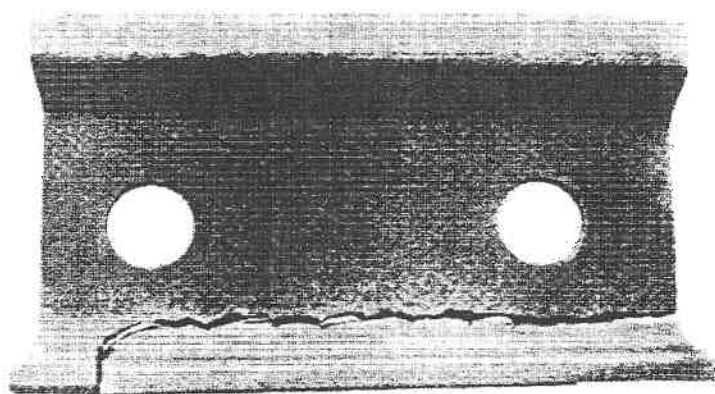
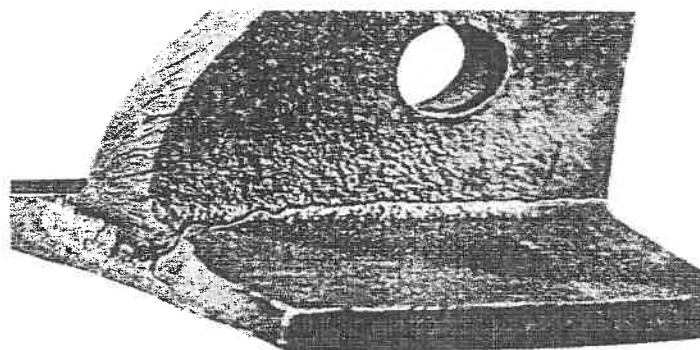
Αυτή η ρωγμή δημιουργείται στο άκρο της σιδηροτροχιάς και τείνει να διαχωρίσει την κεφαλή από τον κορμό. Αρχικά εξελίσσεται παράλληλα προς την ένωση κεφαλής – κορμού (εικόνα 4-8α) και, καθώς αναπτύσσεται, στρίβει γενικά προς τα κάτω, προκαλώντας την αποκόλληση του πέλματος (εικόνα 4-8β). Μπορεί επίσης να στρίβει ταυτόχρονα και προς τα πάνω, περνώντας σε μερικές περιπτώσεις μέσα από μία οπή αμφιδέτη και οδηγώντας σε σπάσιμο μέσω κατατεμαχισμού της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-8γ).

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος και των δύο προσώπων του κορμού μετά την αφαίρεση των αμφιδετών,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά: απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.

*Εικόνα 4-8α**Εικόνα 4-8β**Εικόνα 4-8γ.**(Πηγή: UIC CODE, 712R)*

133 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ (ΣΩΛΗΝΩΣΗ).

Κατασκευαστική αστοχία.

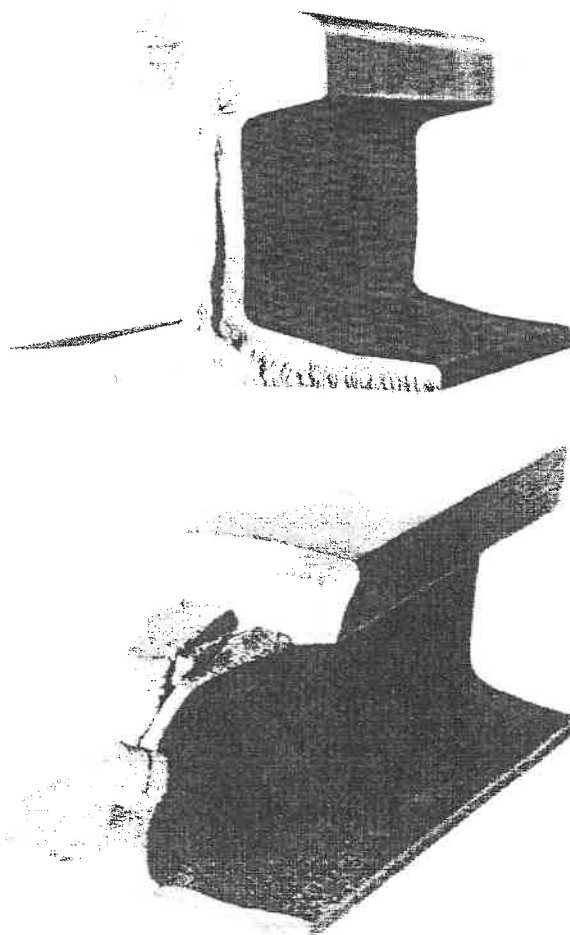
Αυτή η αστοχία, συνήθως γνωστή ως σωλήνωση, χαρακτηρίζεται από μία κατακόρυφη ασυνέχεια κατά μήκος του κορμού της σιδηροτροχιάς. Μπορεί να προκαλέσει το σπάσιμο της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-9), ανεξάρτητα αν συνδυάζεται με άλλη αστοχία ή όχι. Σε ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να παρατηρηθεί μία διόγκωση και των δύο προσώπων του κορμού και μία ανεπαίσθητη συμπίεση της επιφάνειας κύλισης στο επίπεδο της αστοχίας, ή ρηγμάτωση γύρω από τις οπές του αμφιδέτη.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-9.
(Πηγή: UIC CODE, 712R)

13 ΚΟΡΜΟΣ.

135 ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΙΣ ΟΠΕΣ ΤΟΥ ΑΜΦΙΔΕΤΗ.

Αστοχία που οφείλεται σε φορτία λειτουργίας.

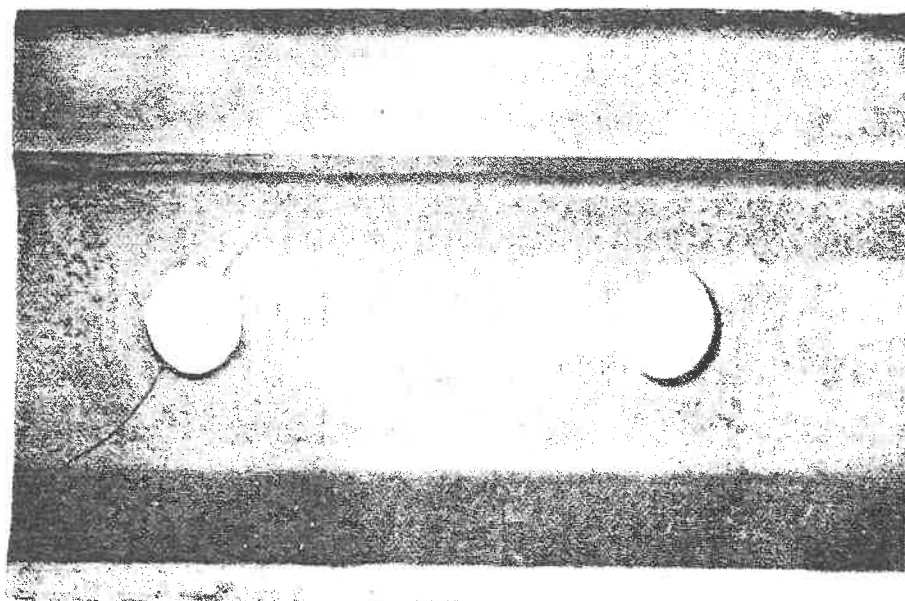
Αυτή η αστοχία αποτελείται από διαδοχικές ρωγμές που εξαπλώνονται ακτινωτά από τις οπές του αμφιδέτη (εικόνα 4-10α). Γενικά ξεκινούν με γωνία περίπου 45° και μπορούν να προκαλέσουν σπάσιμο (εικόνα 4-10β). Η πιθανότητα της δημιουργία αυτού του είδους της αστοχίας εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της διάτρησης. Ειδικές μέθοδοι τελικής επεξεργασίας, όπως λοξότμηση και η καλή ποιότητα επιφάνειας διάτρησης, μπορούν να βοηθήσουν στη σημαντική μείωση του κινδύνου ρηγμάτωσης.

Μέσα ανίχνευσης:

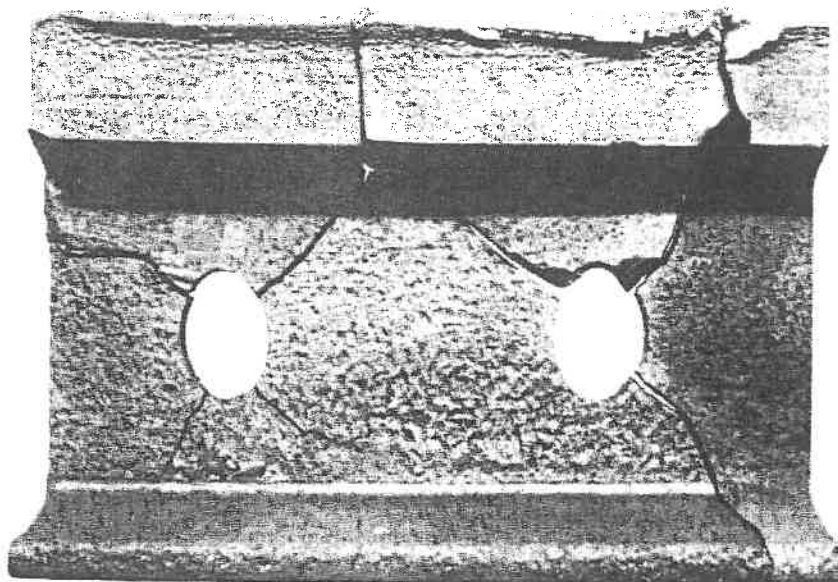
- οπτικός έλεγχος και των δύο προσώπων του κορμού μετά την αφαίρεση των αμφιδετών,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά: Απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-10α



Εικόνα 4-10β.
(Πηγή: UIC CODE, 712R)

Οι αστοχίες που χαρακτηρίζονται από τα νούμερα 100,111,121,124,125,134,139,153 και 154 έχουν την ίδια συμπεριφορά με αστοχίες που παρουσιάζονται πιο κάτω.

4.2.4.2. Αστοχίες μακριά από τα άκρα των σιδηροτροχιών.

20 ΠΛΗΡΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ.

200 ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΣΠΑΣΙΜΟ ΧΩΡΙΣ ΕΜΦΑΝΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ.

Ένα εγκάρσιο σπάσιμο, το αίτιο ή η προέλευση του οποίου δεν μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα. Σπασίματα τέτοιου είδους συμβαίνουν ξαφνικά, ιδιαίτερα λόγω πολύ κρύων καιρικών συνθηκών. Έλεγχος του τμήματος της σιδηροτροχιάς που εμπλέκεται και συγκεκριμένος έλεγχος για εξακρίβωση ότι το σπάσιμο δεν προέρχεται από:

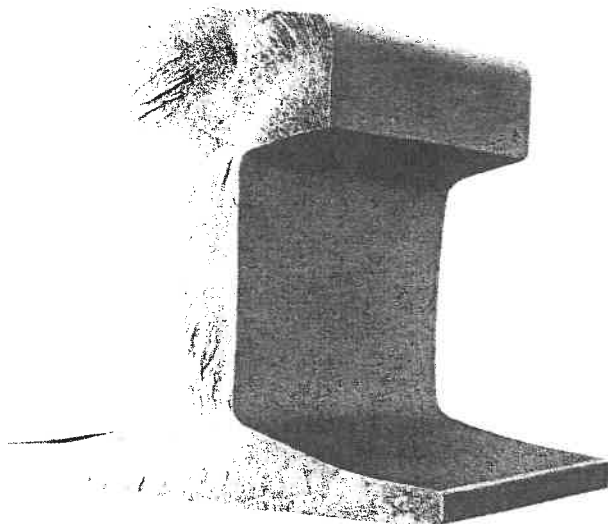
- μία διαδοχική εγκάρσια ρωγμή που ξεκινά μέσα από την κεφαλή (αστοχία 211)
- καψίματα από τροχούς (αστ.2251), (αστ.2252),
- διάβρωση (αστ.234,254),
- διαμήκης κατακόρυφη ρηγμάτωση στο πέλμα (αστ.253),
- χτυπήματα (αστ.301),
- ελαττωματική μεταλλουργική κατεργασία,
- κ.τ.λ.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,



Εικόνα 4-11.

(Πηγή: UIC CODE, 712R)

21/22 ΚΕΦΑΛΗ.

211 ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ (ΡΩΓΜΗ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΝΕΦΡΟΥ).

Κατασκευαστική αστοχία.

Αυτή η αστοχία (εικόνα 4-12α και β) αναπτύσσεται από μία ατέλεια στο εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, από μία εσωτερική οριζόντια ρωγμή ή σε ειδικές περιπτώσεις από βαθιά αποφλοίωση της γωνίας κύλισης. Η ακριβής θέση του σημείου προέλευσης δεν είναι απαραίτητα κεντρική (εικόνα 4-12ε και στ). Ο "νεφροειδής" χαρακτηρισμός οφείλεται στο ιδιαίτερο σχήμα της εξελισσόμενης ρωγμής. Μετά την πάροδο ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, η ρωγμή φτάνει στην εξωτερική περιοχή της κεφαλής της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-12γ). Τότε γίνεται ορατή στα πρόσωπα του κορμού (εικόνα 4-12δ). Σ' αυτό το στάδιο επίκειται η θραύση της σιδηροτροχιάς.

Αυτή η αστοχία δεν μπορεί να ανιχνευτεί με βεβαιότητα μέχρι το στάδιο της θραύσης. Παρ' όλα αυτά, η παρουσία μίας πλάγιας εγκάρσιας ρωγμής, γενικά ανεξάρτητης από οποιαδήποτε άλλη αστοχία στην επιφάνεια της κεφαλής της σιδηροτροχιάς, είναι αξιόπιστη ένδειξη μίας ρωγμής κόπωσης σε σχήμα νεφρού. Κατά το στάδιο της θραύσης πριν η αστοχία γίνει ορατή, μπορεί να παρατηρηθεί ένα ομαλό, φωτεινό, σε σχήμα νεφρού μπάλωμα, που γενικά συνδυάζεται με ομόκεντρες ζώνες που προσδιορίζουν την εξέλιξη της ρωγμής (εικόνα 4-12ε και στ). Το μπάλωμα αυτό αρχίζει να οξειδώνεται μόλις η ρωγμή φτάνει στην επιφάνεια και γίνεται ορατό. Αυτή η σοβαρή αστοχία μπορεί να

συμβεί επανειλημμένως στην ίδια σιδηροτροχιά και με τον τρόπο αυτό οδηγεί σε μεγάλα κενά στην περίπτωση πολλαπλών θραύσεων. Μπορεί να εξαπλωθεί και να διαδοθεί τάχιστα και σε σιδηροτροχιές ιδίων χαρακτηριστικών.

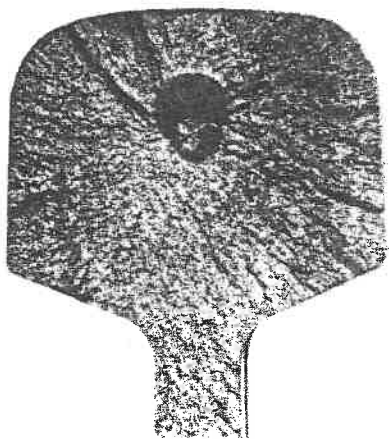
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

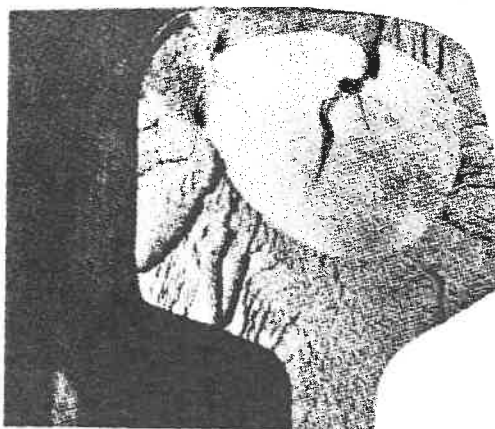
Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

Εξαρτώνται από την έκταση της αστοχίας/ -ών

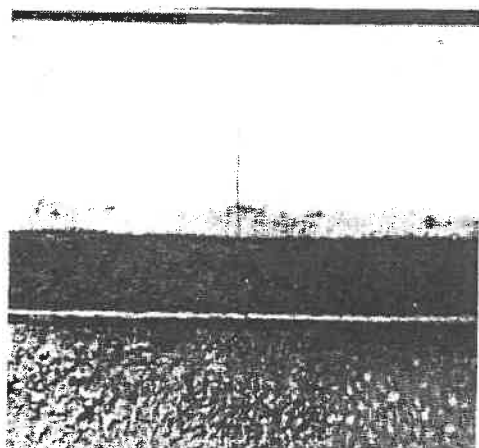
- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή έλεγχο,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- όταν είναι δυνατό, διεξαγωγή υπερηχητικού ελέγχου σε σιδηροτροχιές ιδίων χαρακτηριστικών όταν η αστοχία έχει πάρει επιδημικές διαστάσεις.



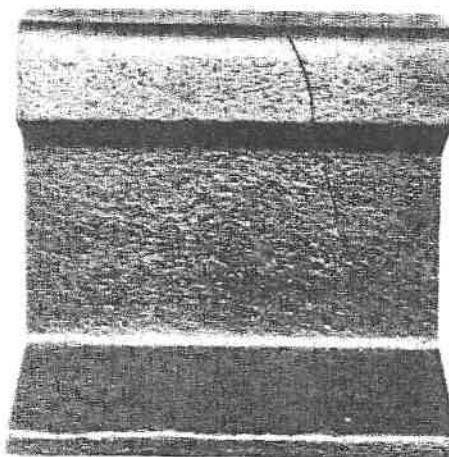
Εικόνα 4-12α



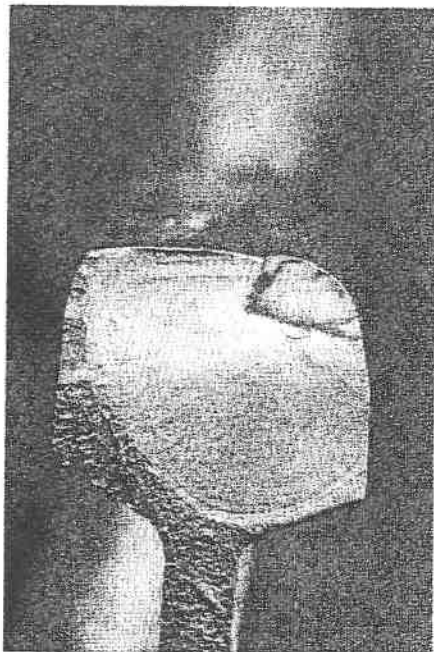
Εικόνα 4-12β



Εικόνα 4-12γ



Εικόνα 4-12δ



Εικόνα 4-12ε



Εικόνα 4-12στ.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

212 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

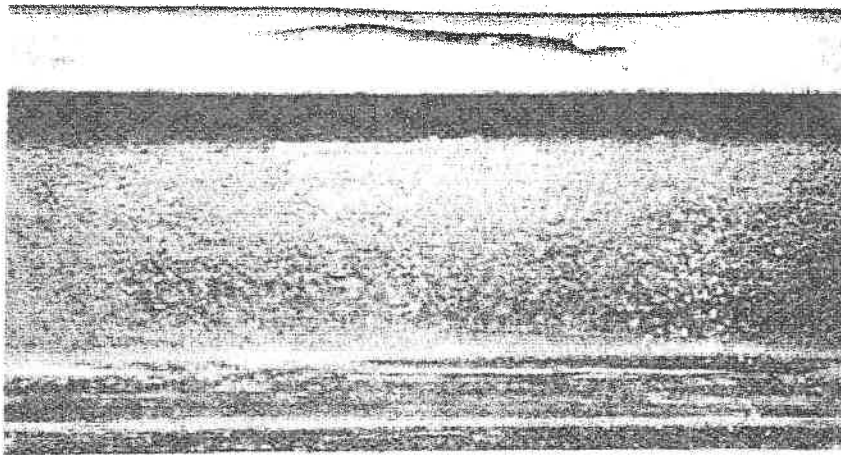
Αυτή η ρωγμή τείνει σταδιακά να αποκολλήσει το πάνω μέρος της κεφαλής ακολουθώντας πορεία σχεδόν παράλληλη με την επιφάνεια κύλισης. Μπορεί να προκαλέσει τοπική συμπίεση της επιφάνειας κύλισης η οποία χαρακτηρίζεται από ένα σκούρο μάλωμα που δημιουργεί αντίθεση με τη φωτεινή επιφάνεια της γωνίας κύλισης. Αρχικά, μία ρωγμή γίνεται ορατή στο εξωτερικό πρόσωπο της κεφαλής σε απόσταση περίπου 15 χιλιοστά από την επιφάνεια κύλισης (εικόνα 4-13α). Η οριζόντια ρωγμή μπορεί να κατευθυνθεί προς τα κάτω και να εξελιχθεί σε εγκάρσια ρωγμή (σύνθετη ρωγμή), (εικόνα 4-13β) και τελικά σε σπάσιμο. Μία σπασμένη σιδηροτροχιά που οφείλεται σε σύνθετη ρωγμή, χαρακτηρίζεται, στη αρχή της θραύσης, από ένα σκούρο μάλωμα στην περιοχή όπου χωροθετείται η αρχική οριζόντια ρωγμή. Η συνέχεια της θραύσης έχει μία καθαρή, κρυσταλλική εμφάνιση.

Μέσα ανίχνευσης:

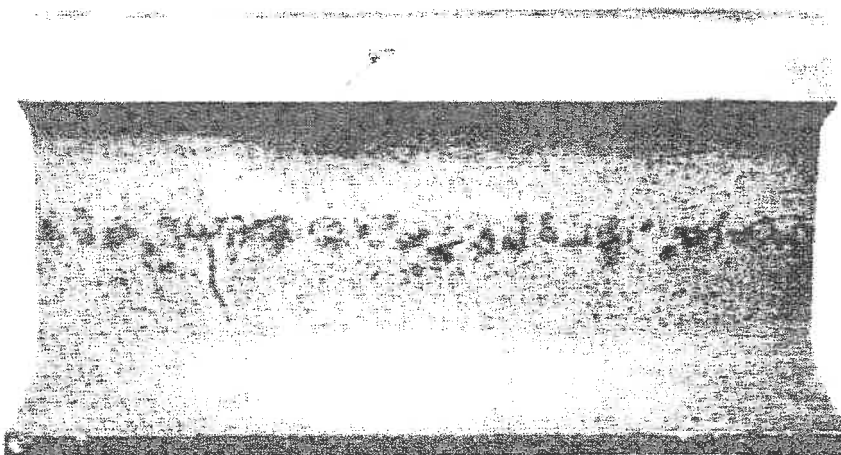
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή έλεγχο,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,



Εικόνα 4-13α



Εικόνα 4-13β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

213 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

Αυτή η ρωγμή τείνει σταδιακά να αποκολλήσει το πάνω μέρος της κεφαλής ακολουθώντας πορεία παράλληλη με τον κορμό της σιδηροτροχιάς. Μόλις η αστοχία φτάνει στην επιφάνεια κύλισης, χαρακτηρίζεται από μία μαύρη γραμμή κατά μήκος της επιφάνειας (εικόνα 4-14α). Τότε παρατηρείται μία συμπίεση της επιφάνειας κύλισης μαζί με μία διαπλάτυνση της κεφαλής ανάλογη με το άνοιγμα της ρωγμής. Η συγκεκριμένη ρωγμή μπορεί να γίνει ορατή στην άνω καμπύλη του κορμού στο ένα από τα δύο πρόσωπα του κορμού (εικόνα 4-14β).

Όταν η αστοχία γίνεται ορατή στην επιφάνεια κύλισης, δεν πρέπει να συγχέεται με την αστοχία 221(εικόνα 4-19β και γ).

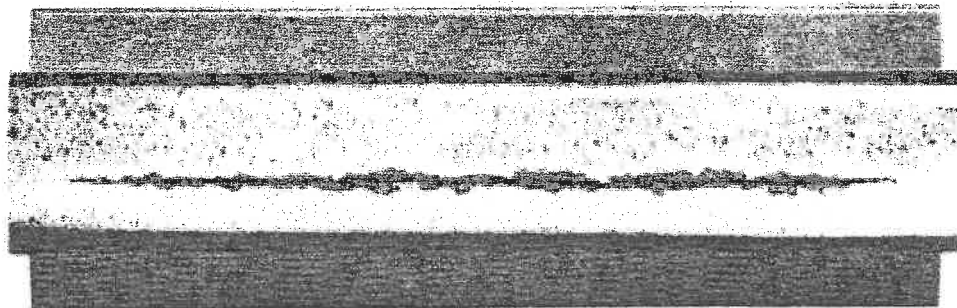
Όταν η αστοχία γίνεται ορατή στην άνω καμπύλη του κορμού, δεν πρέπει να συγχέεται με την αστοχία 2321 ή την αστοχία 239. Είναι δυνατό να γίνει ο διαχωρισμός τους από αυτές μέσω υπερηχητικού ελέγχου.

Μέσα ανίχνευσης:

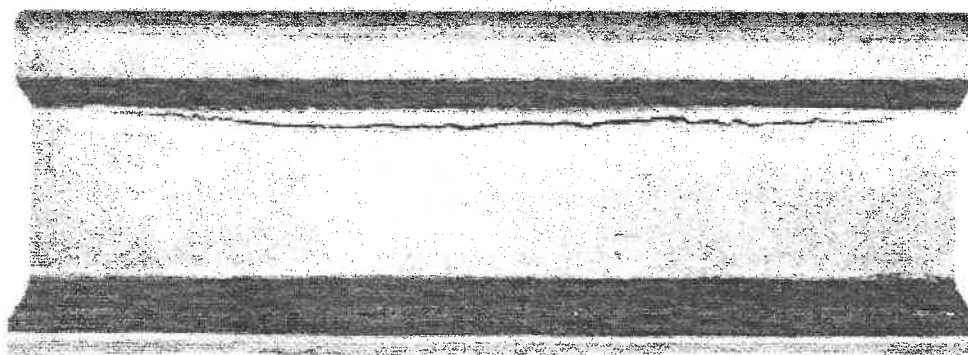
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με σφυρί,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς



Εικόνα 4-14α



Εικόνα 4-14β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

220 ΦΘΟΡΑ.

2201 ΚΥΜΑΤΩΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Η κυμάτωση μικρού μήκους κύματος χαρακτηρίζεται από μία ψευδοπεριοδική συχνότητα ζωηρών υψωμάτων και σκοτεινών κοιλωμάτων στην επιφάνεια κύλισης. Το μήκος κύματος γενικά Κυμαίνεται από 3 έως 8 εκατοστά.

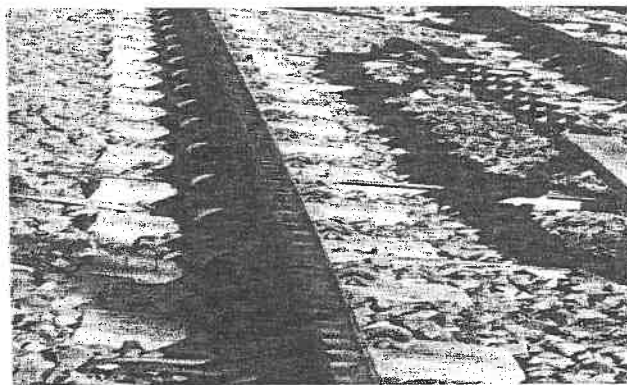
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός και ηχητικός έλεγχος,
- παρατηρήσεις που βασίζονται σε καταγραφές που γίνονται από οχήματα επιθεώρησης της γραμμής,
- καταγραφές μέσω, ειδικά για αυτή την αστοχία, κατασκευασμένων οχημάτων.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

Λείανση των σιδηροτροχιών όταν η κυμάτωση φτάσει σε κλίμακα τέτοια ώστε να είναι επιζήμια για:

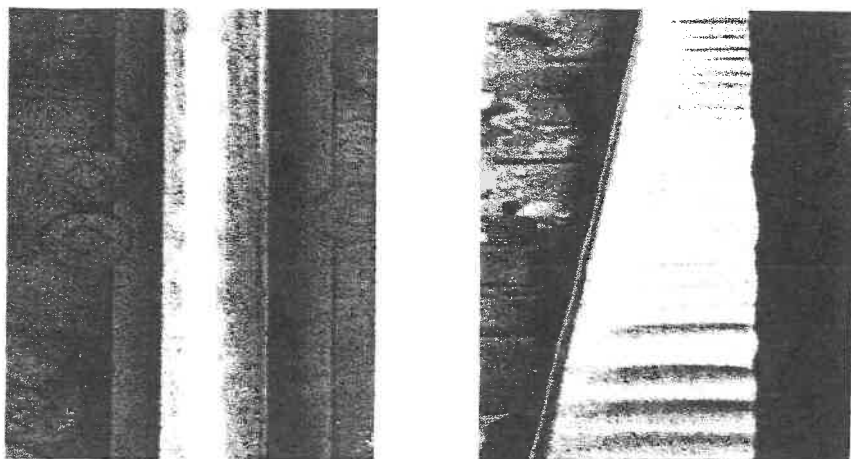
- τη συντήρηση της γραμμής,
- την κίνηση των οχημάτων,
- την άνεση των επιβατών,
- το περιβάλλον (υψηλό επίπεδο θορύβου λόγω των διερχόμενων συρμών).



Εικόνα 4-15α



Εικόνα 4-15β.



Εικόνα 4-15γ.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2202 ΚΥΜΑΤΩΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Σε αυτόν τον τύπο κυμάτωσης δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των υψωμάτων και των κοιλωμάτων. Η κυμάτωση μεγάλου μήκους κύματος χαρακτηρίζεται από συμπίεσεις της επιφάνειας κύλισης που είναι περισσότερο ή λιγότερο τονισμένες και δημιουργούν ανωμαλίες σε σύγκριση με ένα ιδεατό ευθύγραμμο προφίλ. Το μήκος κύματος κυμαίνεται γενικά από 8 έως 30 εκατοστά περίπου. Η κυμάτωση μεγάλου μήκους κύματος παρατηρείται συνήθως στο εσωτερικό τμήμα των καμπύλων.

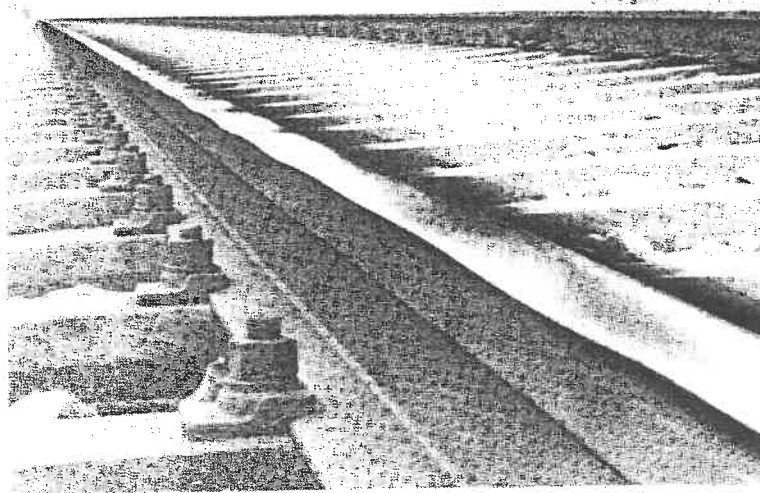
Μέσα ανίχνευσης.

- οπτικός και ηχητικός έλεγχος,
- παρατηρήσεις που βασίζονται σε καταγραφές που γίνονται από οχήματα επιθεώρησης της γραμμής,
- καταγραφές μέσω, ειδικά για αυτή την αστοχία, κατασκευασμένων οχημάτων.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

Λείανση των σιδηροτροχιών όταν η κυμάτωση φτάσει σε κλίμακα τέτοια ώστε να είναι επιζήμια για:

- τη συντήρηση της γραμμής,
- την κίνηση των οχημάτων,
- την άνεση των επιβατών,
- το περιβάλλον.



Εικόνα 4-16.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2203 ΠΛΑΓΙΑ ΦΘΟΡΑ.

Η πλάγια φθορά (ή λοξότμηση) των σιδηροτροχιών που εμφανίζεται στο εξωτερικό τμήμα των καμπυλών, οφείλεται σε τάσεις από το τροχαίο υλικό. Στην ίδια καμπύλη, αυτή η φθορά παίρνει γενικά μία ημιτονοειδής εμφάνιση με την ελάχιστη τιμή της στο επίπεδο των αρμών των αμφιδετών. Η ανάπτυξη της πλάγιας φθοράς εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της λίπανσης της σιδηροτροχιάς.

Η πλάγια φθορά αποτελεί αστοχία όταν η έκτασή της είναι τέτοια ώστε:

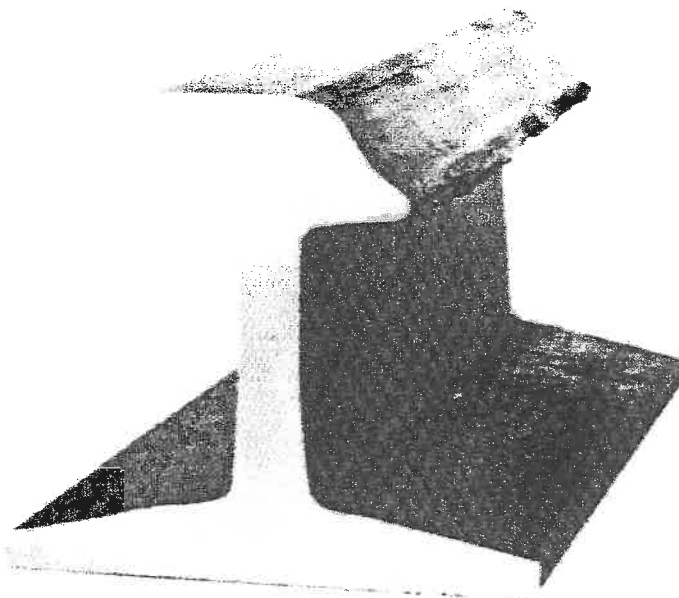
- να είναι επιζήμια για τη συντήρηση της γραμμής (εκτεταμένη διαπλάτυνση της γωνίας κύλισης),
- να μπορεί να προκαλέσει θραύση μέσω εξασθένησης του προφίλ (επηρεάζοντας την κάτω καμπύλη της κεφαλής).

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτική παρατήρηση και μέτρηση της φθοράς.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή έλεγχο και μέτρηση της φθοράς,
- απόσυρση των σιδηροτροχιών που παρουσιάζουν μη κανονική πλάγια φθορά.



Εικόνα 4-17.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2204 ΑΣΥΝΗΘΙΣΤΗ ΚΑΘΕΤΗ ΦΘΟΡΑ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Η κάθετη φθορά οφείλεται στις τάσεις από το τροχαίο υλικό και αναπτύσσεται σε συνάρτηση με τα φορτία λειτουργίας. Σε γενικές γραμμές δε

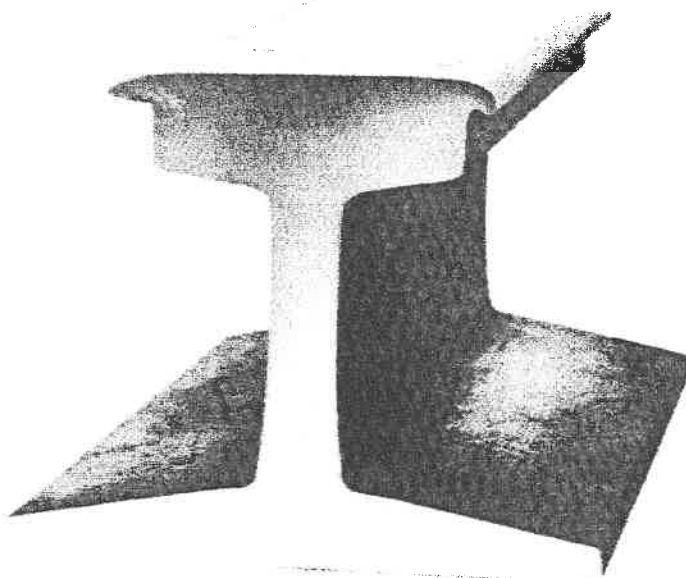
θεωρείται αστοχία σιδηροτροχιάς. Παρ' όλα αυτά η ασυνήθιστη κάθετη φθορά μπορεί να παρουσιαστεί σε μερικές σιδηροτροχιές. Η έκτασή της σε τέτοιες περιπτώσεις, ξεπερνά τη μέση φθορά που παρατηρείται σε γειτονικές σιδηροτροχιές υπό παρόμοιες συνθήκες. Αυτή η ασυνήθιστη φθορά μπορεί να προκαλέσει θραύση μέσω εξασθένησης του προφίλ. (Σε τέτοιες περιπτώσεις, απαιτείται έλεγχος για το αν η θραύση οφείλεται σε άλλη αστοχία).

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτική παρατήρηση και μέτρηση της φθοράς.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή έλεγχο και μέτρηση της φθοράς,
- απόσυρση των σιδηροτροχιών που παρουσιάζουν μη κανονική πλάγια φθορά.



Εικόνα 4-18.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

221 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ.

Κατασκευαστικές αστοχίες.

Αυτές οι αστοχίες σε αρχικό στάδιο είναι καθόλου ή πολύ δύσκολα ορατές. Γίνονται εμφανείς μετά από κάποιο χρονικό διάστημα που ποικίλει ανάλογα με τα φορτία κυκλοφορίας.

Οι επιφανειακές αστοχίες μπορούν να εμφανίσουν ένα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία ανάπτυξής τους.

- Απολέπιση (εικόνα 4-19α): Λεπτά λέπια μετάλλου που αποκολλούνται από την επιφάνεια κύλισης. Αυτή η αστοχία μπορεί να φτάσει μέχρι μερικά χιλιοστά βάθος, προκαλώντας σταδιακή συμπίεση της επιφάνειας κύλισης (εικόνα 4-19β).

- Μακρύ αυλάκι (εικόνα 4-19γ): Μία λωρίδα μετάλλου σχεδόν σταθερής διατομής αποκολλάται από την επιφάνεια κύλισης. Η αστοχία μπορεί να

εκτείνεται σε μήκος μέχρι μερικά μέτρα. Το βάθος της δεν ξεπερνά τα μερικά χιλιοστά.

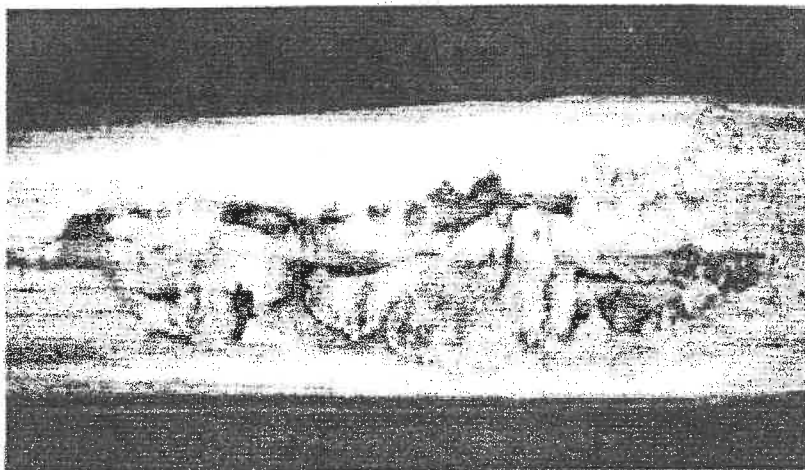
- Τριχοειδής ρηγμάτωση (εικόνα 4-19δ): Τριχοειδής διαμήκης αστοχία που δεν ξεπερνά τα 2 έως 3 χιλιοστά σε βάθος. Αυτή η αστοχία, η οποία γίνεται εμφανής λίγο μετά τη στρώση της γραμμής, τείνει γενικά να εξαφανισθεί με τη φθορά της επιφάνειας κύλισης, εκτός αν συνδυάζεται με απολέπιση (εικόνα 4-19α).

Μέσα ανίχνευσης:

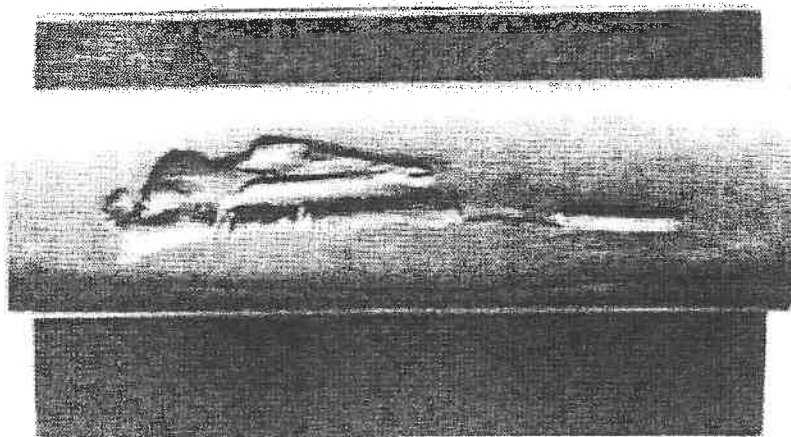
- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

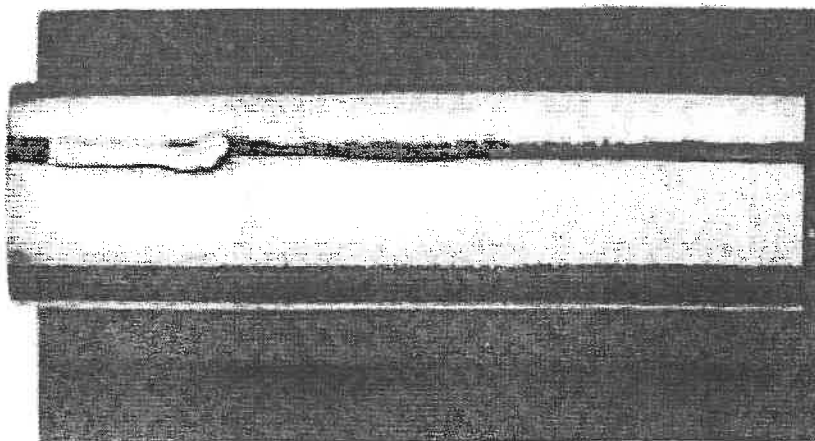
- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- αν η αστοχία δεν είναι πολύ βαθιά, μπορεί να είναι δυνατή η επιδιόρθωσή της με λείανση,
- αστοχίες που δεν είναι πολύ βαθιές και έχουν εντοπιστεί μπορεί να προσφέρονται για επιδιόρθωση μέσω επαναφορά επιφάνειας,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς αν η αστοχία εξαπλωθεί και γίνει επιζήμια για τη συντήρηση της γραμμής.



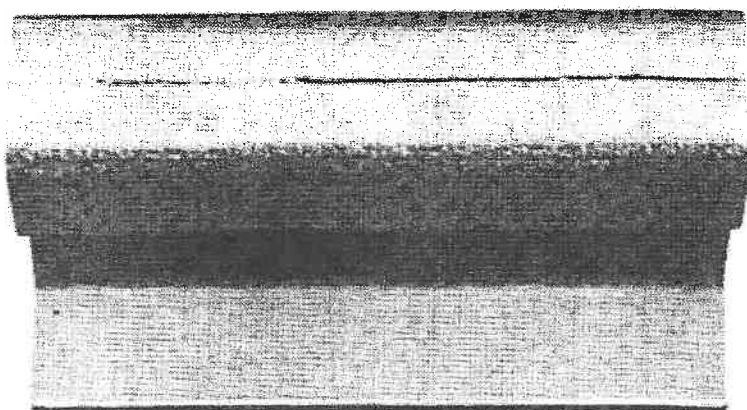
Εικόνα 4-19α



Εικόνα 4-19β



Εικόνα 4-19γ.



Εικόνα 4-19δ.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

222 ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ.

2221 ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ.

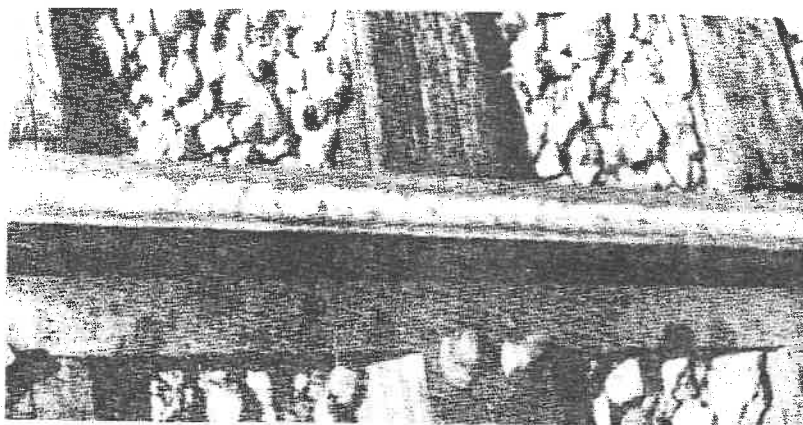
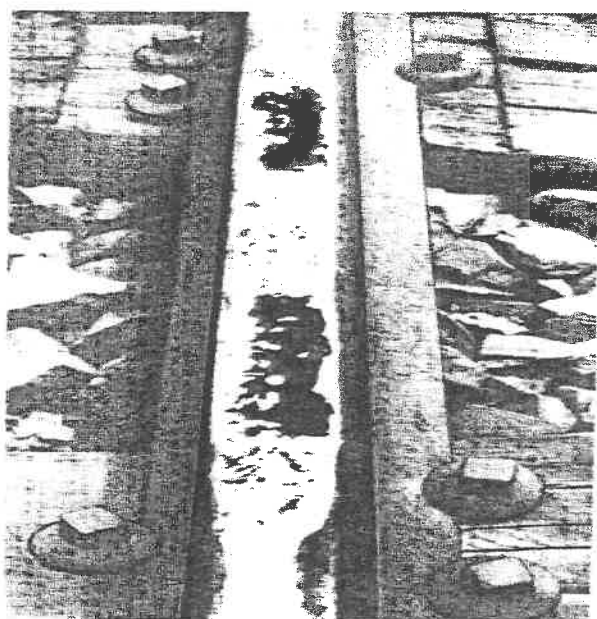
Ψευδοκυματοειδής παραμόρφωση της επιφάνειας κύλισης (εικόνα 4-20α), παρατηρείται πριν την εμφάνιση του ξεφλουδίσματος του μετάλλου, που μπορεί να φτάνει σε βάθος μέχρι μερικά χιλιοστά (εικόνα 4-20β). Τα σημεία τομής των τμημάτων που αποφλοιώνονται είναι ποικίλα. Η αποφλοιώση σε γενικές γραμμές δεν είναι μία απομονωμένη αστοχία και τις περισσότερες φορές εμφανίζεται σε διάφορες περιοχές.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπερήχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.

*Εικόνα 4-20α**Εικόνα 4-20β.**(Πηγή: UIC CODE, 712R).*

2222 ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ.

Οι σιδηροτροχιές αρχικά εμφανίζουν σκοτεινά σημάδια τυχαία διασκορπισμένα στη γωνία κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-21α). Τα σημάδια αυτά είναι πρόωρες ενδείξεις αποσάθρωσης του εσωτερικού μετάλλου, η οποία, μετά από κάποια περίοδο εξέλιξης, χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό χειλών στο πλευρικό πρόσωπο, ρωγμών και τελικά αποφλοίωσης στη γωνία κύλισης της επιφάνειας κύλισης που μπορεί μερικές φορές να είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη (εικόνα 4-21β και γ). Σ' αυτό το στάδιο της διαδικασίας, η ολίσθηση του μετάλλου, που οφείλεται στα φορτία κυκλοφορίας, οδηγεί σε ταυτόχρονες τοπικές συμπίεσεις στην επιφάνεια κύλισης. Σε γενικές γραμμές, η αποφλοίωση της γωνίας κύλισης εμφανίζεται στις εξωτερικές σιδηροτροχιές στις καμπύλες που έχουν λειανθεί για την αποφυγή της πλάγιας φθοράς.

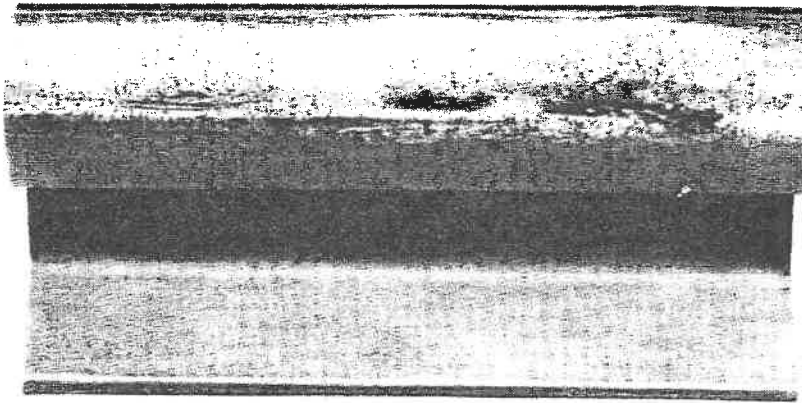
Απαιτείται έλεγχος για το αν αυτή η αστοχία συνοδεύεται ή ενισχύει την εγκάρσια ρηγμάτωση.

Μέσα ανίχνευσης:

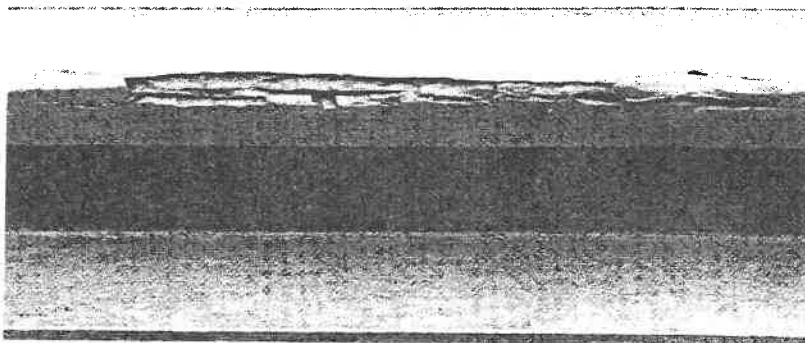
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπερήχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-21α



Εικόνα 4-21β



Εικόνα 4-21γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2223 ΑΝΑΚΟΠΗ ΚΕΦΑΛΗΣ/ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΧΙΣΜΩΝ/ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΚΥΛΙΣΗΣ.

Η ανακοπή κεφαλής εμφανίζεται γενικά στη γωνία κύλισης στο υψηλότερο σημείο των σιδηροτροχιών, στις καμπύλες. Μοιάζει με μικρές παράλληλες σχισμές κανονικά χωροθετημένες ή όχι. Η απόσταση μεταξύ των σχισμών ποικίλει ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και την ποιότητα του χάλυβα της σιδηροτροχιάς, ξεκινώντας από ένα χιλιοστό και φτάνοντας μέχρι και μερικά εκατοστά.

Η ανακοπή κεφαλής παίρνει τις ακόλουθες μορφές:

1. Σταθεροποιημένα και συμμετρικά H-C (εικόνα 4-22α).

2. H-C με κλιμάκωση (εικόνα 4-22β). Οι σχισμές στο εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς αναπτύσσονται με γωνία 10^0 έως 15^0 , μέχρι το μέγιστο βάθος που είναι, σε ορισμένες περιπτώσεις, μερικά χιλιοστά. Τότε αναπτύσσονται παράλληλα με την επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς και καταλήγουν να συναντηθούν ξανά στη γωνία κύλισης όπου και δημιουργούν την κλιμάκωση. Σε ορισμένες ασυνήθιστες περιπτώσεις (εικόνα 4-22α και γ), παρατηρείται ρηγμάτωση που οφείλεται στην εγκάρσια ανάπτυξη των H-C σχισμών (εικόνα 4-22δ).

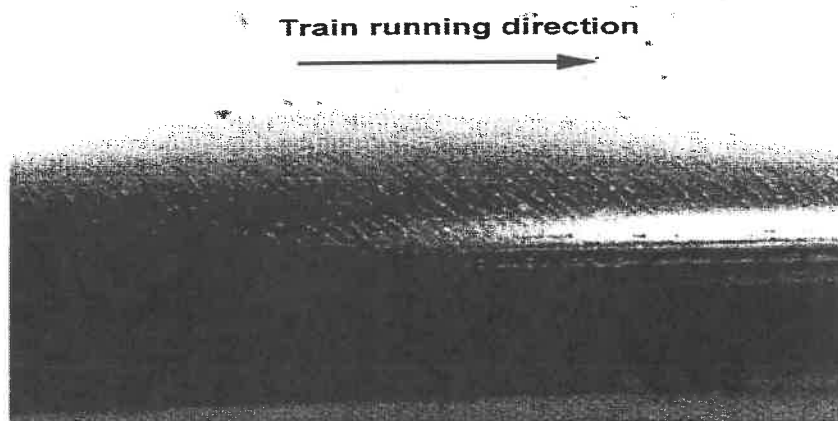
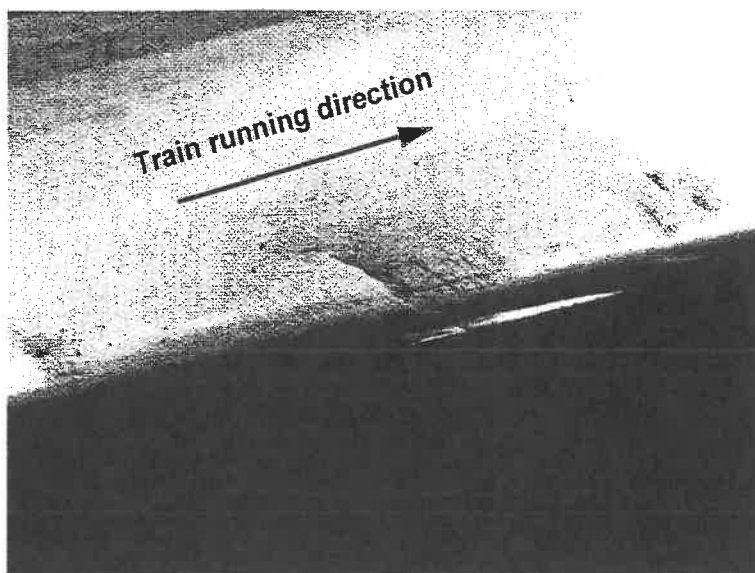
3. H-C που μοιάζει με μακριά σχισμή, η οποία καταλήγει στην κορυφή σε μία διακλάδωση ακολουθώντας τον διαμήκη άξονα της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-22γ). Σ' αυτόν τον τύπο H-C, εμφανίζεται επίσης μία μικρή σκούρα κοιλότητα αντίθετη προς τη φορά κίνησης. Η επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς συχνά παρουσιάζει μία διαπλάτυνση. Σε περίπτωση που η αστοχία αυτή εμφανίζεται περιοδικά, μπορεί να προκαλέσει ρηγμάτωση μερικών μέτρων, κάτι που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο.

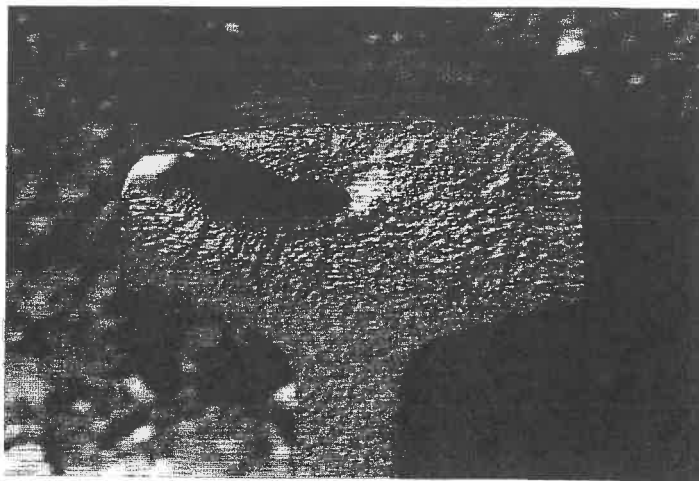
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπερήχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση των σιδηροτροχιών που παρουσιάζουν αστοχίες που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ποιότητα στη λειτουργία,
- λείανση της σιδηροτροχιάς που μπορεί μερικές φορές να εμποδίσει ή να καθυστερήσει την εμφάνιση της κλιμάκωσης,
- απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.

*Εικόνα 4-22α**Εικόνα 4-22β.**Εικόνα 4-22γ.*



Εικόνα 4-22δ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

223 ΣΥΝΘΛΙΨΗ.

Η επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς εξωθείται πλευρικά για αρκετά μεγάλη απόσταση. Η πάνω εξωτερική γωνία της σιδηροτροχιάς ξεπετάγεται ταχύτατα για τη δημιουργία χείλους. Τότε παρατηρείται η δημιουργία μίας ρυτίδας, που μπορεί να εκτείνεται σε όλο το μήκος της σιδηροτροχιάς. Η ρυτίδα τείνει να λεπταίνει και διαδοχικά να αποκολληθεί από την κεφαλή.

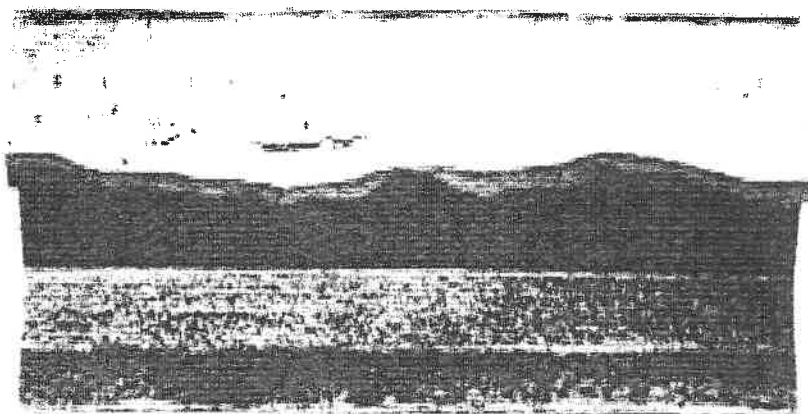
Αυτή η αστοχία εμφανίζεται γενικά στην εσωτερική σιδηροτροχιά των καμπύλων μικρής ακτίνας.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- λείανση των ρυτίδων όπου αυτό είναι απαραίτητο,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-23.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

224 ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ.

Κατασκευαστική αστοχία.

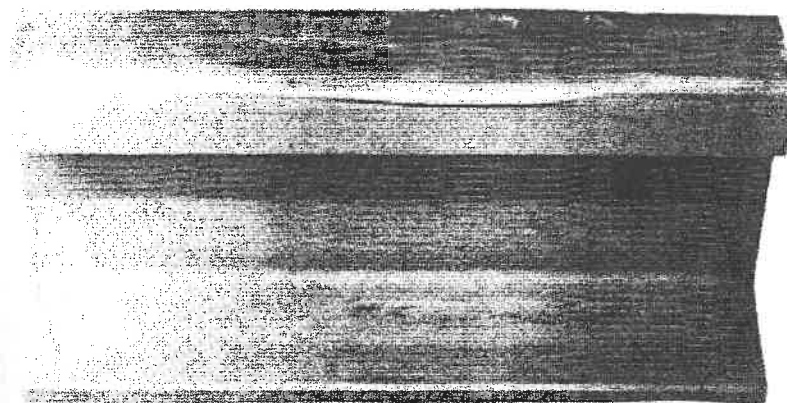
Μη συνηθισμένη αστοχία, η ακριβής προέλευση της οποίας δεν μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα. Η επιφάνεια κύλισης εμφανίζει μία απομονωμένη, πενιχρή κοιλότητα, που συνήθως συνοδεύεται από μία διαπλάτυνση της γωνίας κύλισης.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-24.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

225 ΚΑΨΙΜΟ ΑΠΟ ΤΡΟΧΟ.

2251 ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΚΑΨΙΜΟ ΑΠΟ ΤΡΟΧΟ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Η ολίσθηση των κινητήριων τροχών μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία μίας αυτοκαταστροφικής στρώσης ελλειπτικής μορφής. Αυτή η στρώση μπορεί να εξαφανιστεί ή να αναπτυχθεί:

- είτε οριζόντια στην κεφαλή, όπου σύντομα εκφυλίζεται σε τοπική αποφλοίωση που δεν αναπτύσσεται σε βάθος αλλά προοδευτικά προκαλεί συμπίεση της επιφάνειας κύλισης υπό την επαναλαμβανόμενη επιβολή των φορτίων κυκλοφορίας (εικόνα 4-25α και β).

- είτε εγκάρσια στην κεφαλή, προκαλώντας μία εσωτερική ρωγμή που αναπτύσσεται προς τον κορμό και συνοδεύεται από μία συμπίεση της επιφάνειας κύλισης χωρίς καμία άλλη τοπική ανωμαλία (εικόνα 4-25γ). Αυτή η εσωτερική ρωγμή φτάνει σύντομα στην επιφάνεια και οδηγεί σταθερά σε

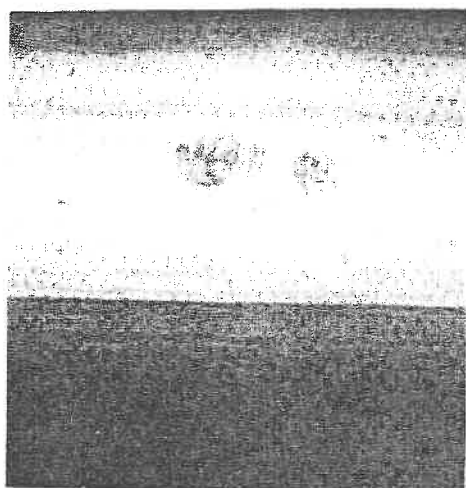
σπάσιμο, η μορφή του οποίου είναι πολύ χαρακτηριστική (εικόνα 4-25δ). Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

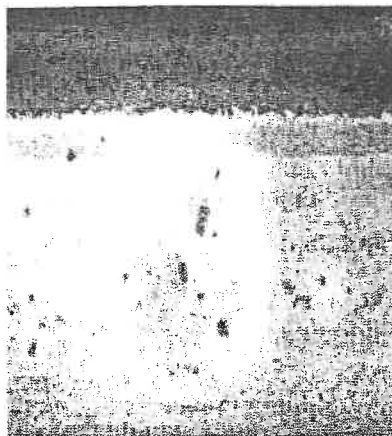
Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση κάθε σιδηροτροχιάς, που εμφανίζει ένα ή περισσότερα καψίματα από τροχούς χωρίς εγκάρσια ρηγμάτωση, υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς αν η αστοχία αποδεικνύεται επιζήμια για τη συντήρηση της γραμμής και αν η έκταση ή ο αριθμός των καψιμάτων αποκλείουν την επιδιόρθωση,
- τα καψίματα από τροχούς μπορούν να επιδιορθωθούν με επαναφορά επιφάνειας, ανάλογα με την εμφάνισή τους,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης και απόσυρση των σιδηροτροχιών με εγκάρσιες ρωγμές,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.

Τα ίδια γνωρίσματα έχει και η αστοχία 125 των άκρων της σιδηροτροχιάς.



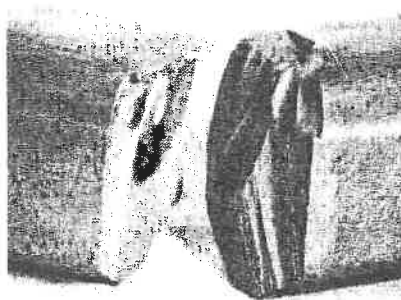
Εικόνα 4-25α



Εικόνα 4-25γ



Εικόνα 4-25β



Εικόνα 4-25δ

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2252 ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟ ΚΑΨΙΜΟ ΑΠΟ ΤΡΟΧΟ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Σε τμήματα όπου η ολίσθηση των τροχών ή η πέδηση παρατηρούνται επανειλημμένως, ή σε θέσεις όπου η ολίσθηση συμβαίνει ενώ η μονάδα έλξης βρίσκεται σε κίνηση, η επιφάνεια κύλισης λαμβάνει μία χαρακτηριστική κυματοειδής εμφάνιση (εικόνα 4-26α). Αυτό το φαινόμενο μπορεί να χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μίας σειράς μικροσκοπικών ρωγμών στην επιφάνεια κύλισης, που εκτείνονται σε βάθος μέσα στη σιδηροτροχιά (εικόνα 4-26β). Ως αποτέλεσμα αυξάνει αισθητά η ευθραυστότητα της σιδηροτροχιάς σε κρύες καιρικές συνθήκες, και μπορεί να προκληθεί θραύση (εικόνα 4-26γ).

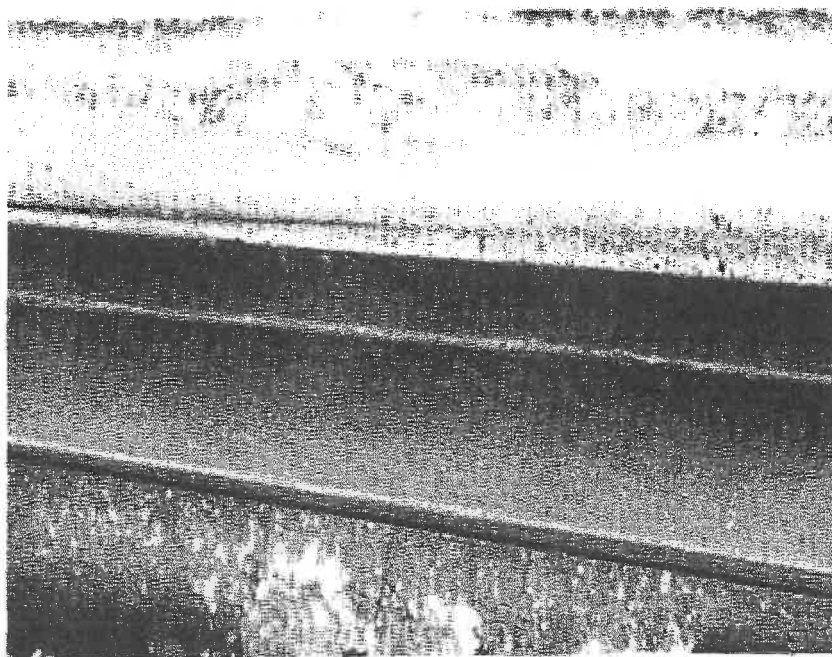
Αυτή η αστοχία εμφανίζεται γενικά σε σιδηροτροχιές που βρίσκονται κοντά σε σηματοδότες στάσης.

Μέσα ανίχνευσης:

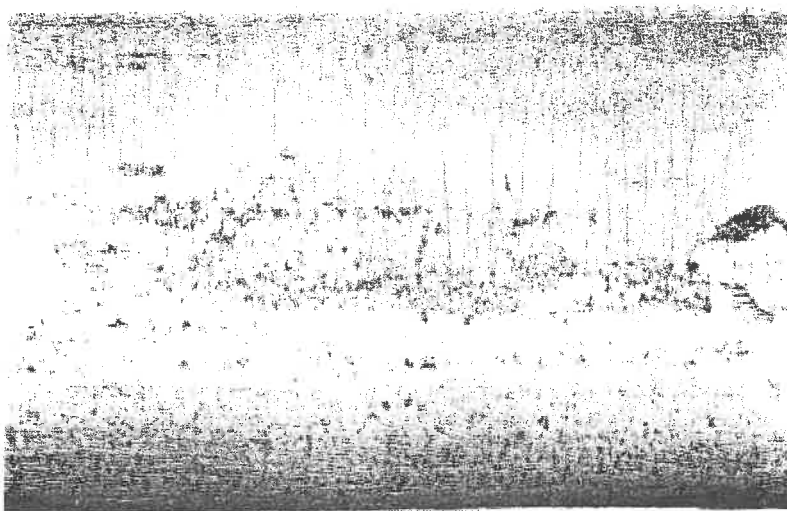
- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

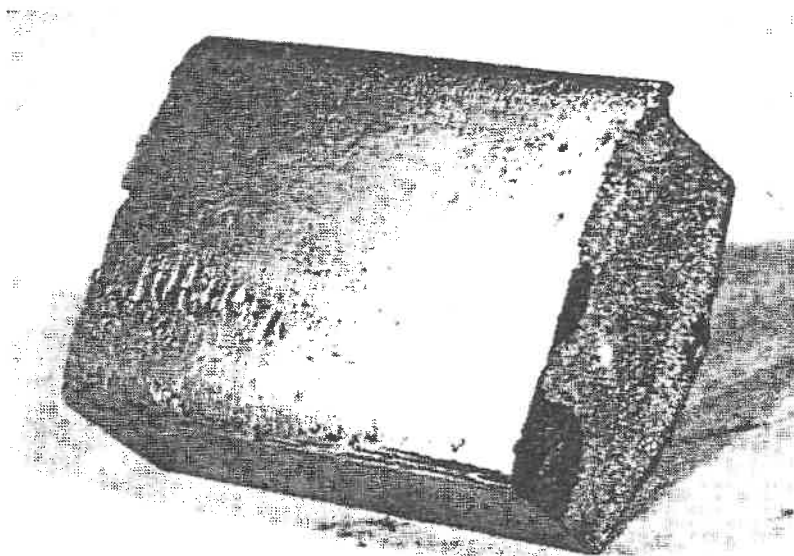
- διατήρηση κάθε σιδηροτροχιάς με κυματοειδή εμφάνιση (εικόνα 4-26α) υπό συνεχή παρακολούθηση,
- λείανση των σιδηροτροχιών με ελαφρά καψίματα από τροχούς όπου αυτό είναι απαραίτητο,
- απόσυρση κάθε σιδηροτροχιάς που εμφανίζει μικροσκοπικές ρωγμές που εκτείνονται μέχρι τη γωνία κύλισης κοντά στο κάψιμο από τροχό (εικόνα 4-26β).



Εικόνα 4-26α



Εικόνα 4-26β.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).



Εικόνα 4-26γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

227 ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ.

Αυτή η αστοχία είναι ορατή στην επιφάνεια κύλισης της κεφαλής της σιδηροτροχιάς σαν μία διαπλάτυνση και μία τοπική συμπίεση της ζώνης επαφής του τροχού με την κεφαλή, που συνοδεύεται από ένα σκούρο σημάδι που περιλαμβάνει ρωγμές σε σχήμα κυκλικού τόξου ή V (εικόνα 4-27α). Οι ρωγμές διασπείρονται στο εσωτερικό της κεφαλής, αρχικά με μία πολύ μικρή γωνία προς την επιφάνεια. Στη συνέχεια, μόλις φτάσουν σε βάθος 3 έως 5 χιλιοστά, αναπτύσσονται με κατεύθυνση προς τα κάτω εγκάρσια, προκαλώντας τη θραύση της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-27β και γ).

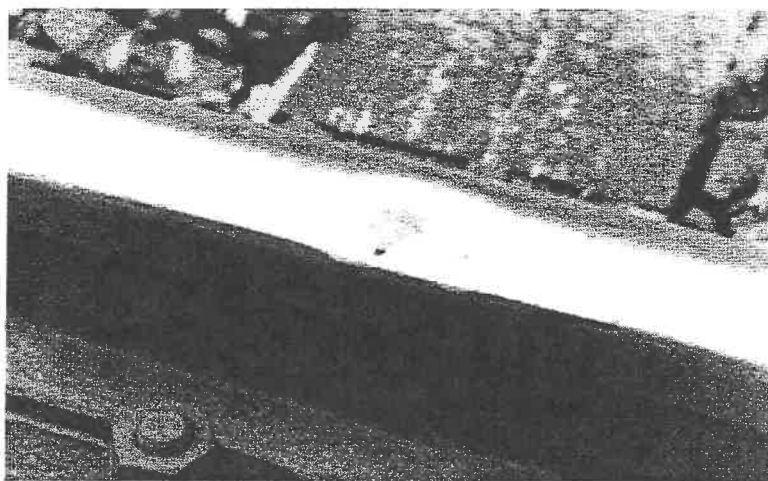
Αυτή η αστοχία παρουσιάζεται συνήθως σε κολλήσεις ανάφλεξης και αλουμινοθερμικές κολλήσεις, καθώς και σε ζώνες κυμάτωσης. Οι ρωγμές στις σιδηροτροχιές εμφανίζονται τυχαία και είναι πολυάριθμες, κάτι που τις καθιστά επικίνδυνες λόγω του ενδεχόμενου κινδύνου πολλαπλών θραύσεων με σημαντικά κενά. Αυτή η μορφολογία μπορεί να βρεθεί τοπικά ή περιοδικά στη γωνία κύλισης των υψηλών σιδηροτροχιών στις καμπύλες, σε περιοχές με ανακοπή κεφαλής (εικόνα 4-22δ). Σ' αυτή την περίπτωση κωδικοποιείται σαν 2223.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπερήχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

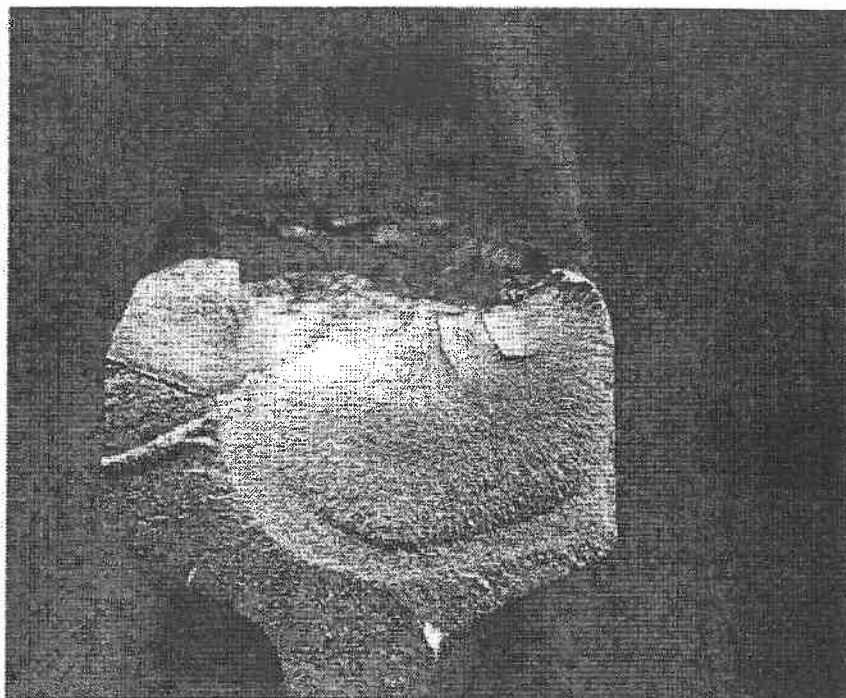
- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση των σιδηροτροχιών που παρουσιάζουν αστοχίες επιζήμιες για την διασφάλιση της ποιότητας της επαφής κατά την κύλιση,
- απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-27α



Εικόνα 4-27β



*Εικόνα 4-27γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).*

23 ΚΟΡΜΟΣ.

232 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

2321 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

Κατασκευαστική αστοχία.

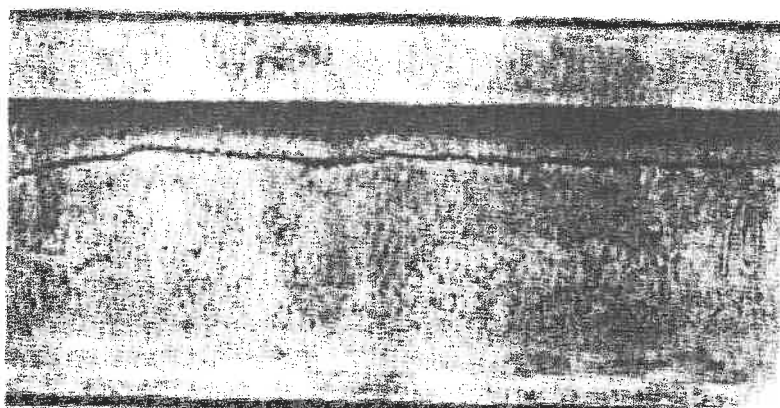
Αυτή η ρωγμή αναπτύσσεται παράλληλα με την άνω καμπύλη του κορμού (εικόνα 4-28α) και μπορεί να στρίψει είτε προς τα κάτω είτε προς τα πάνω καθώς εξελίσσεται (εικόνα 4-28β). Σε κάθε περίπτωση, η ρωγμή προκαλεί την αποκόλληση της κεφαλής και τον κατατεμαχισμό της σιδηροτροχιάς, δημιουργώντας μεγάλο κενό.

Μέσα ανίχνευσης:

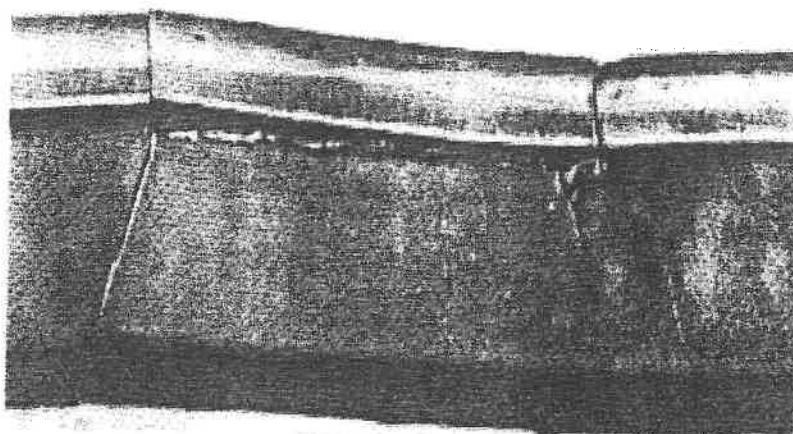
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά: απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-28α



Εικόνα 4-28β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

2322 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

Κατασκευαστική αστοχία.

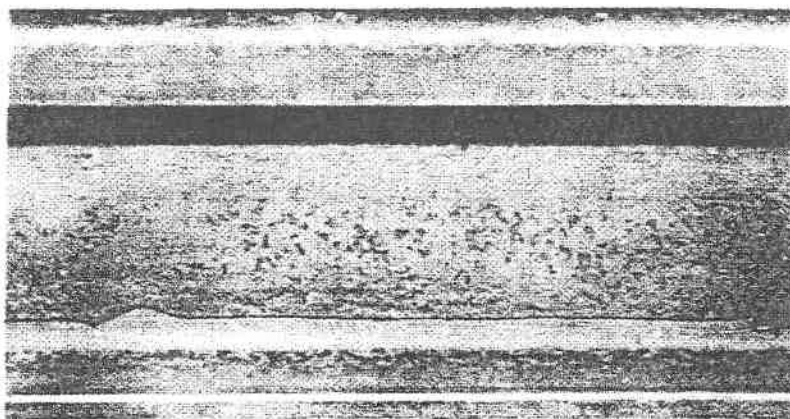
Αυτή η ρωγμή αναπτύσσεται αρχικά παράλληλα με την άνω καμπύλη του κορμού (εικόνα 4-29α) και μπορεί να στρίψει είτε προς τα κάτω είτε προς τα πάνω καθώς εξελίσσεται (εικόνα 4-29β). Σε κάθε περίπτωση, η ρωγμή προκαλεί την αποκόλληση της κεφαλής και τον κατατεμαχισμό της σιδηροτροχιάς, δημιουργώντας μεγάλο κενό.

Μέσα ανίχνευσης:

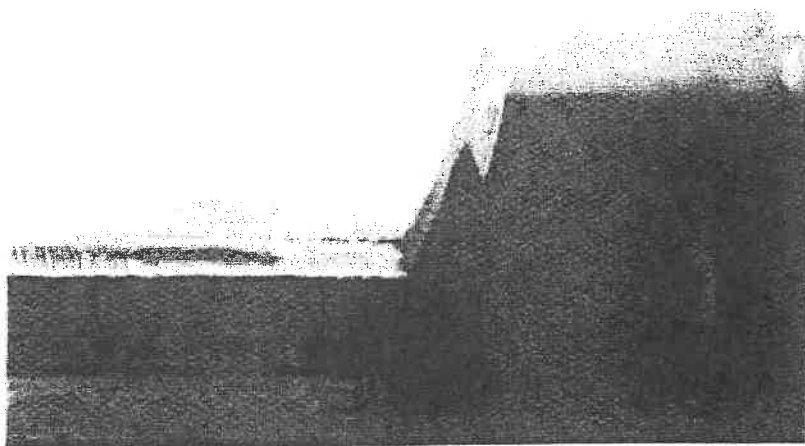
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά: απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-29α



Εικόνα 4-29β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

233 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

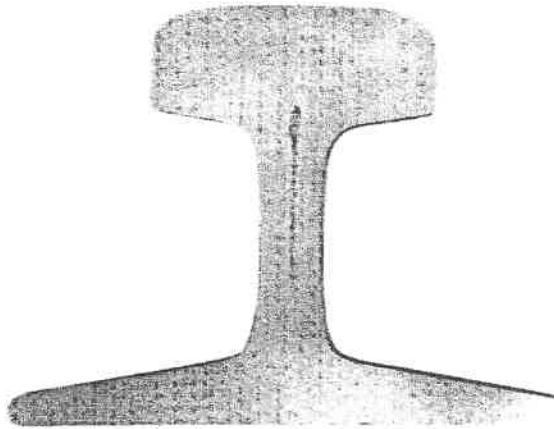
Αυτή η αστοχία, κοινώς γνωστή ως σωλήνωση, χαρακτηρίζεται από μία διαμήκης κατακόρυφη ρωγμή στον κορμό της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-30α). Ανεξάρτητα με το αν συνοδεύεται από άλλη αστοχία, μπορεί να προκαλέσει τη θραύση της σιδηροτροχιάς. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, παρατηρείται φούσκωμα και στα δύο πρόσωπα του κορμού (εικόνα 4-30β), που συνοδεύεται από μία μικρή συμπίεση της επιφάνειας κύλισης σε ορθή γωνία με την αστοχία.

Μέσα ανίχνευσης:

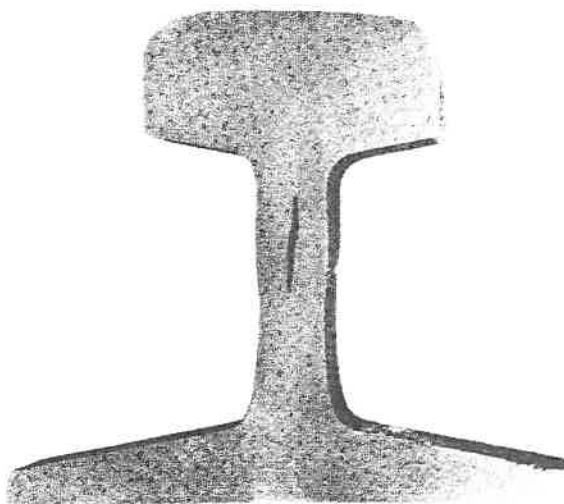
- οπτικός έλεγχος (φούσκωμα του κορμού),
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-30α



Εικόνα 4-30β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

234 ΔΙΑΒΡΩΣΗ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Εκτεταμένη διάβρωση του κορμού της σιδηροτροχιάς μπορεί να εμφανίζεται σε ειδικές περιπτώσεις, εξαιτίας της δράσης χημικών ουσιών στον αέρα ή στο νερό πάνω σε συγκεκριμένες γραμμές ή τμήματα γραμμής, ειδικά σε σήραγγες και σε διασταυρώσεις αλλαγές. Οι σκουριασμένες φλούδες αποκολλούνται σταδιακά από τον κορμό, το πάχος του οποίου μειώνεται σταθερά.

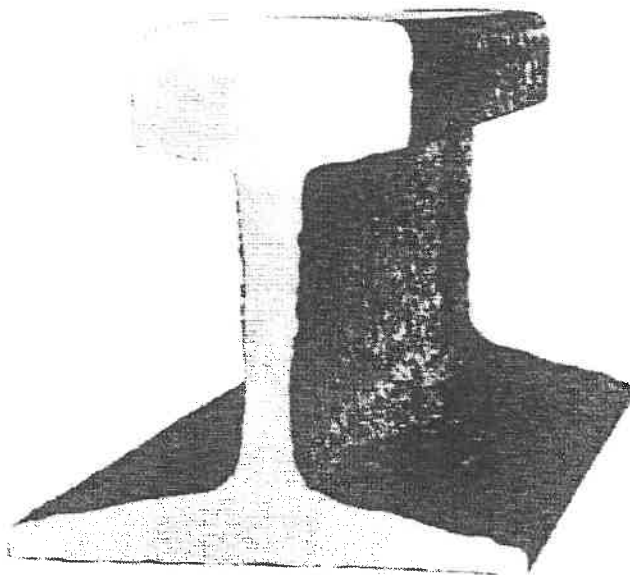
Αυτή η διάβρωση στον κορμό μπορεί να προκαλέσει τη θραύση της σιδηροτροχιάς λόγω της μείωσης του προφίλ. Σ' αυτή την περίπτωση, απαιτείται έλεγχος για το αν η θραύση δεν είναι αποτέλεσμα άλλης αστοχίας, πιο συγκεκριμένα των 2321 και 2322.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος και περιοδικές μετρήσεις του πάχους του κορμού μετά την απομάκρυνση της σκουριάς.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση κάθε σιδηροτροχιάς, το πάχος του κορμού της οποίας έχει μειωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-31.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

235 ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΠΕΣ ΤΟΥ ΑΜΦΙΔΕΤΗ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

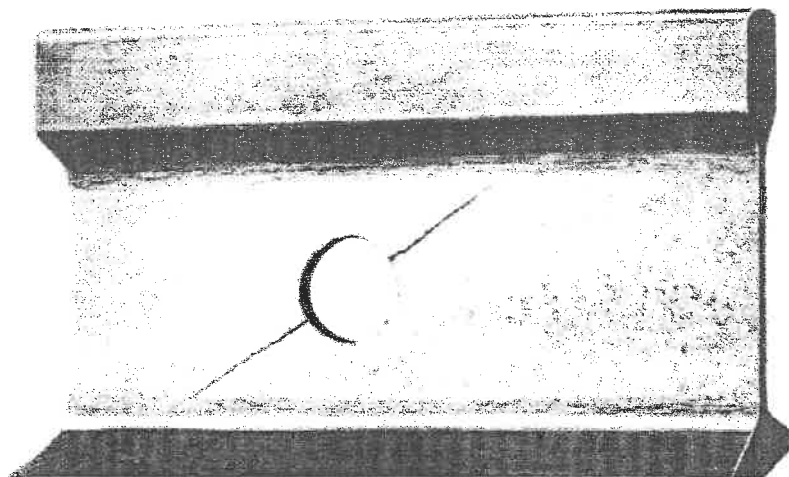
Αυτή η αστοχία χαρακτηρίζεται από προοδευτικές ρωγμές που διασπείρονται με συγκεκριμένη διάμετρο στον κορμό ξεκινώντας από τις άκρες των οπών. Οι ρωγμές γενικά αναπτύσσονται με διάμετρο 45⁰ και μπορούν να προκαλέσουν θραύση της σιδηροτροχιάς. Η πιθανότητα δημιουργίας αυτού του τύπου αστοχίας εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της διάτρησης. Ειδικές μέθοδοι τελικής επεξεργασίας όπως η λοξότμηση και καλή ποιότητα της επιφάνειας διάτρησης, μπορούν να βοηθήσουν στην αισθητή μείωση του κινδύνου ρηγματώσης.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-32.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

236 ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΜΑΚΡΙΑ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΟΠΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

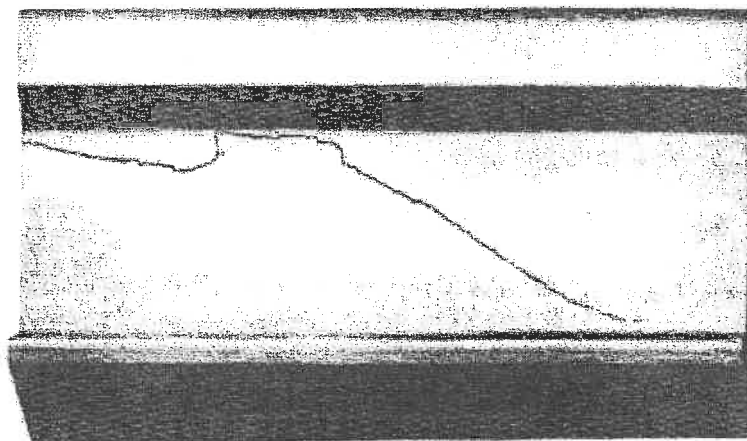
Αυτές οι ρωγμές τείνουν να αποκολλήσουν την κεφαλή ή το πέλμα από τον κορμό της σιδηροτροχιάς. Μπορούν να εξαπλωθούν τοπικά κατά μήκος της άνω ή της κάτω καμπύλης του κορμού και να στρίψουν προς τα κάτω ή προς τα πάνω αντίστοιχα. Μπορούν να ξεκινήσουν από σφραγίδες έλασης.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- σπασμένη σιδηροτροχιά: απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-33.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

239 ΕΠΚΑΛΥΨΗ (ΠΤΥΧΗ).

Κατασκευαστική αστοχία.

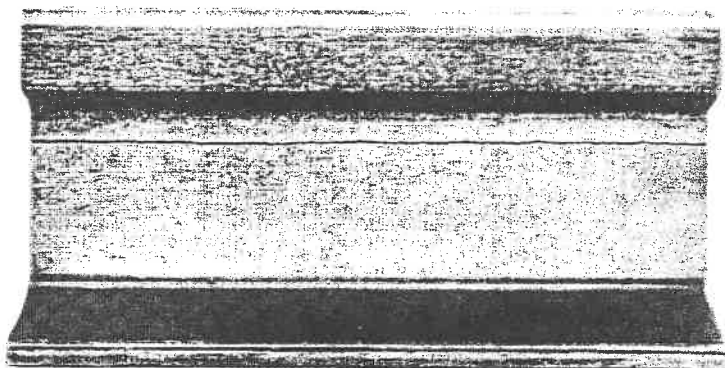
Αυτή η εξαιρετικά σπάνια επιφανειακή αστοχία χαρακτηρίζεται από μία γραμμή παράλληλη στον άξονα κύλισης στη μία επιφάνεια της σιδηροτροχιάς, γενικά στον κορμό ή στην περιοχή της άνω ή της κάτω καμπύλης του κορμού. Οφείλεται σε περίσσειμα μετάλλου που έχει αναδιπλωθεί κατά τη διαδικασία της έλασης. Όλες οι σιδηροτροχιές των ιδίων χαρακτηριστικών μπορεί να είναι εκτεθειμένες στην ίδια αστοχία. Όταν η γραμμή είναι κοντά στην άνω καμπύλη του κορμού, απαιτείται έλεγχος σχετικά με το αν πρόκειται για διαμήκη κατακόρυφη ρηγμάτωση στην κεφαλή (αστοχία 213).

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της σιδηροτροχιάς υπό συνεχή παρακολούθηση και αναζήτηση συμβουλή από ειδικό πριν ληφθεί η απόφαση για την ενέργεια που πρέπει να πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 4-34.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

253 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ.

Κατασκευαστική αστοχία.

Μικρές διαμήκεις γραμμές, που σχηματίζονται κατά την έλαση και εμφανίζονται στο μεσαίο τμήμα της κάτω πλευράς του πέλματος, εξελίσσονται σε ρωγμές λόγω των φορτίων κυκλοφορίας. Αυτές οι ρωγμές τελικά προκαλούν ξαφνική θραύση της σιδηροτροχιάς, σε γενικές γραμμές κατά τη διάρκεια κρύων καιρικών συνθηκών. Σε γενικές γραμμές το σπάσιμο είναι πολύ πλάγιο, ιδιαίτερα στον κορμό και η διαμήκης ρωγμή στην πηγή προέλευσής του μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί μετά τη θραύση. Αυτή η αστοχία μπορεί να αναπτυχθεί σε διάφορα τμήματα της ίδιας σιδηροτροχιάς και προκαλεί τη δημιουργία εκτεταμένων κενών λόγω πολλαπλών θραύσεων.

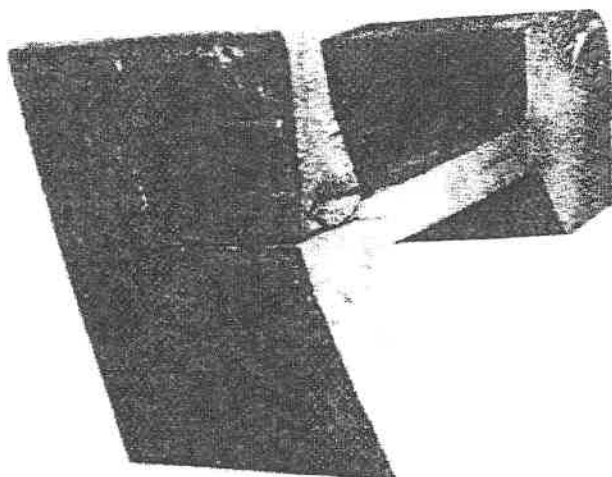
Αυτή η αστοχία μπορεί να εξαπλωθεί τάχιστα σε σιδηροτροχιές ιδίων χαρακτηριστικών.

Μέσα ανίχνευσης:

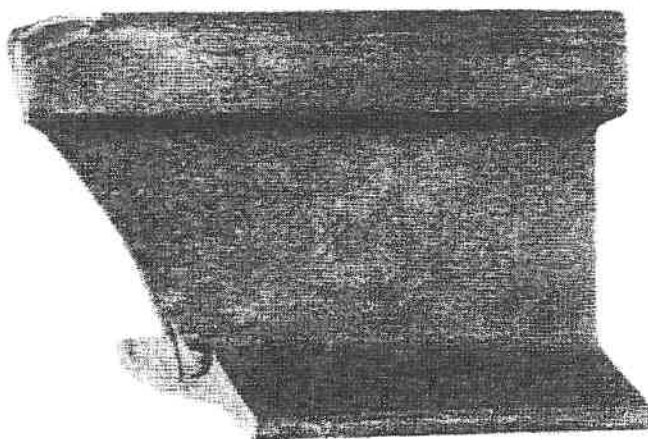
- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-35α



Εικόνα 4-35β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

254 ΔΙΑΒΡΩΣΗ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Εκτεταμένη διάβρωση του πέλματος της σιδηροτροχιάς μπορεί να εμφανίζεται σε ειδικές περιπτώσεις, εξαιτίας της δράσης χημικών ουσιών στον αέρα ή στο νερό πάνω σε συγκεκριμένες γραμμές ή τμήματα γραμμής, ειδικά σε ορισμένες σήραγγες και σε ορισμένες διασταυρώσεις αλλαγές. Οι σκουριασμένες φλούδες αποκολλούνται σταδιακά από το πέλμα το πάχος του οποίου μειώνεται σταθερά (εικόνα 4-36^α και β). Αυτή η διάβρωση στο πέλμα μπορεί να προκαλέσει τη θραύση της σιδηροτροχιάς λόγω της μείωσης του προφίλ. Σ' αυτή την περίπτωση, απαιτείται έλεγχος για το αν η θραύση δεν είναι

αποτέλεσμα άλλης αστοχίας, πιο συγκεκριμένα της 2322.

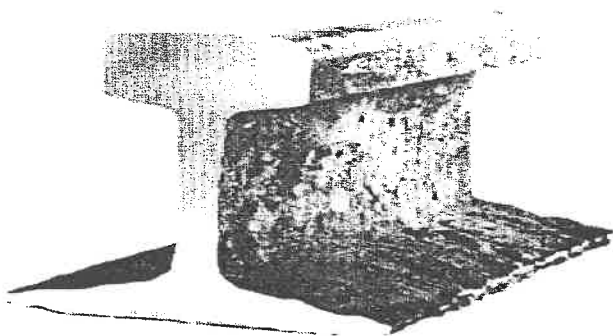
Ένας περαιτέρω τύπος σπασίματος έχει πηγή προέλευσης μία μικρή ρωγμή κόπωσης στο κάτω μέρος του πέλματος. Αυτό το συγκεκριμένο σπάσιμο, σε σχήμα μισοφέγγαρου (εικόνα 4-36γ), συμβαίνει αιφνίδια.

Μέσα ανίχνευσης:

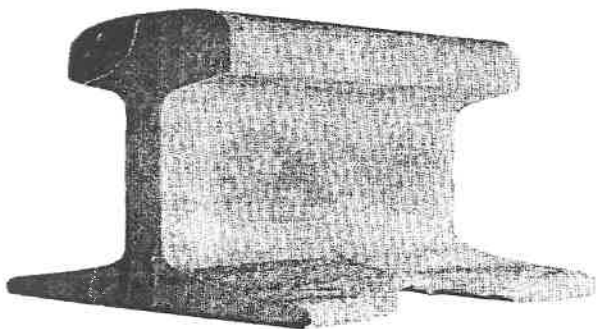
- οπτικός έλεγχος.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

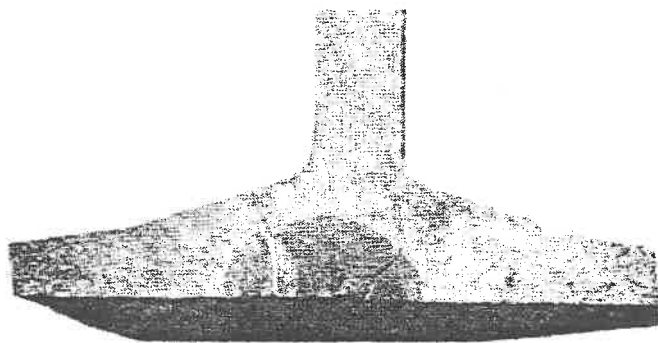
- απόσυρση κάθε σιδηροτροχιάς με πέλμα που παρουσιάζει ασυνήθιστη μείωση μεγέθους,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-36α



Εικόνα 4-36β



Εικόνα 4-36γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

4.2.4.3 Αστοχίες που οφείλονται σε Φθορά της Σιδηροτροχιάς.

30 ΠΛΗΡΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑ.

301 ΧΤΥΠΗΜΑΤΑ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

Αυτές οι αστοχίες προκαλούνται από τυχαίες προσκρούσεις διαφόρων προελεύσεων:

- εκτροχιασμοί,
- συρόμενα τμήματα των οχημάτων,
- φθαρμένα ελαστικά των τροχών,
- διαδικασίες διαχείρισης,
- ακατάλληλη χρήση εργαλείων όπως ατσάλινα σφυριά(εικόνα 4-37α) και επίπεδα καλέμια για την αφαίρεση των ηλεκτρικών συνδέσεων, κ.τ.λ.,
- ηλεκτροσυγκόλληση (εικόνα 4-37β),
- αποτυπώματα έρματος (εικόνα 4-37γ),
- επίστρωση ξένου σώματος στο λάστιχο που προκαλεί ένα αποτύπωμα που επαναλαμβάνεται ανά διαστήματα (εικόνα 4-37δ),
- υλικά που πέφτουν από τους συρμούς.

Όταν το χτύπημα έχει μυτερό προφίλ, μπορεί να προκαλέσει εγκοπή και να αποτελεί την πηγή προέλευσης ρωγμών και σπασιμάτων, ειδικότερα σε σιδηροτροχιές σκληρού χάλυβα. Τα χτυπήματα που οφείλονται σε φθαρμένα ελαστικά προκαλούνται γενικά από την επίστρωση σκληρών θραυσμάτων σ' αυτά τα ελαστικά. Ακολουθεί φθορά της επιφάνειας κύλισης μέσω σύνθλιψης. Τέτοια χτυπήματα μπορούν να εμφανίζονται ανά τακτά διαστήματα σε διάφορες διαδοχικές σιδηροτροχιές της ίδιας έκτασης, μερικές φορές για σημαντική απόσταση. Με την πάροδο του χρόνου αυτά τα χτυπήματα εξελίσσονται σε οριζόντιες ρωγμές λίγα χιλιοστά κάτω από την επιφάνεια, που στη συνέχεια συνοδεύονται από τοπικές συμπίεσεις στην επιφάνεια κύλισης. Τέτοιες ρωγμές μπορεί να στρίψουν προς τα κάτω και να προκαλέσουν θραύσεις. Τα χτυπήματα που εμφανίζονται κατά τις διαδικασίες διαχείρισης μπορεί να πάρουν τη μορφή βαθιών αμυχών στην επιφάνεια κύλισης ή στην κάτω πλευρά του πέλματος της σιδηροτροχιάς. Τα χτυπήματα κατά την ηλεκτροσυγκόλληση από το ρεύμα έλξης δημιουργεί γενικά έναν ή περισσότερους κρατήρες κάτω από το πέλμα της σιδηροτροχιάς. Τέτοια χτυπήματα μπορεί να είναι το αίτιο θραύσεων, από την ξαφνική φύση τους (εικόνα 4-37β - όψη της κάτω πλευράς του πέλματος της σιδηροτροχιάς).

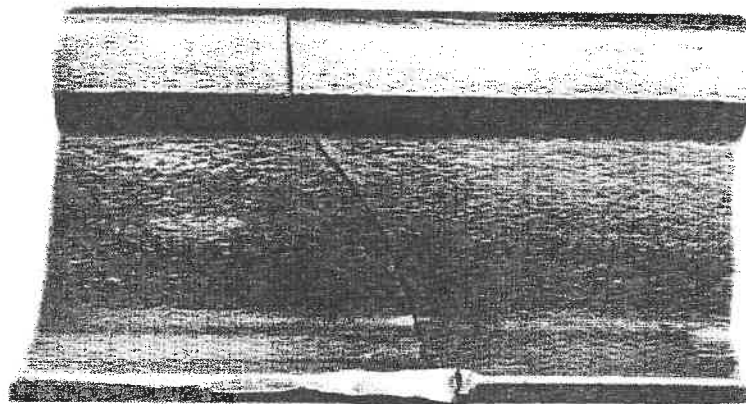
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος.

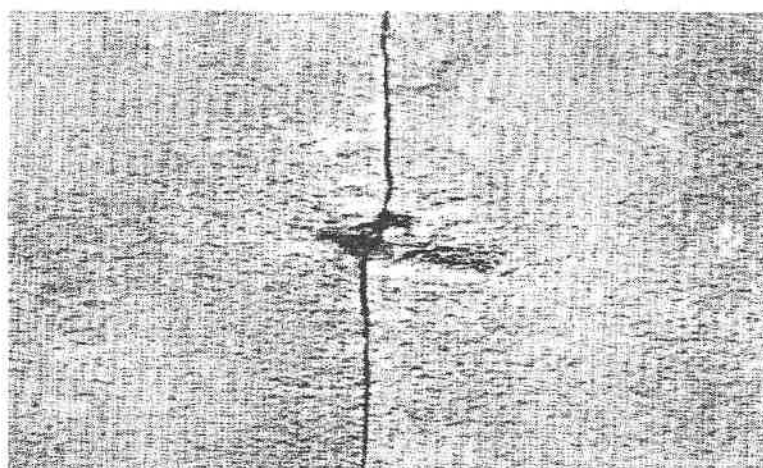
Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- έλεγχος για την έκταση της επηρεαζόμενης περιοχής,
- διατήρηση των σιδηροτροχιών υπό συνεχή παρακολούθηση,

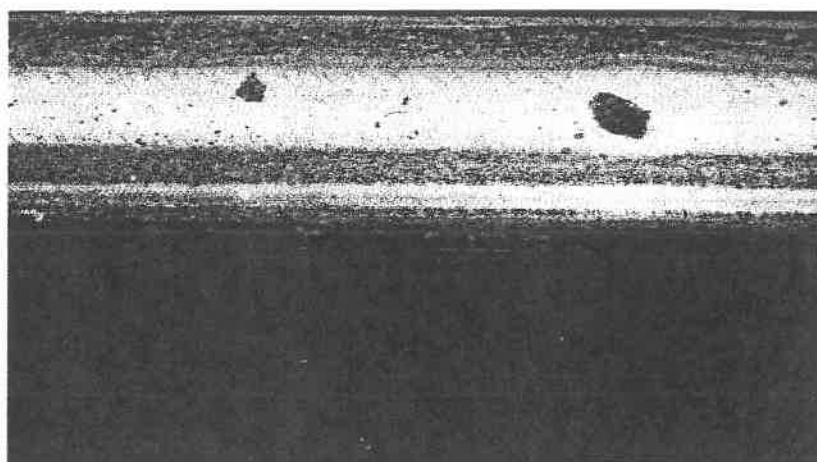
- απόσυρση της ραγισμένης σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς,
- ορισμένα χτυπήματα στην επιφάνεια κύλισης μπορεί να διορθώνονται μέσω επαναφορά επιφάνειας ή να εξαφανίζονται μέσω λείανσης.



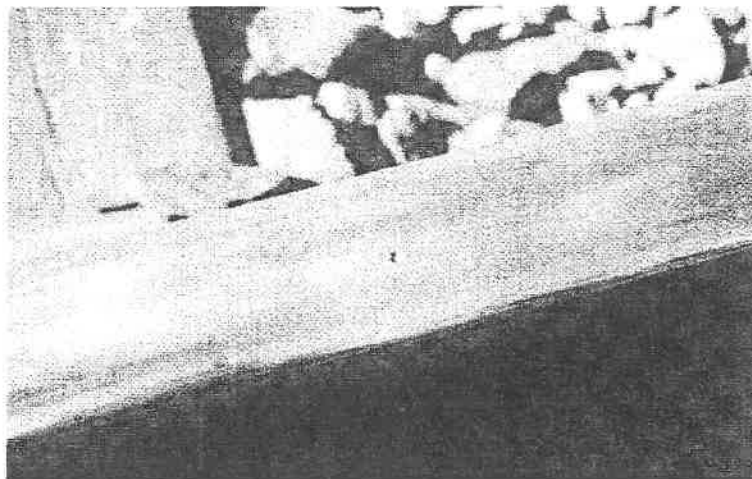
Εικόνα 4-37α



Εικόνα 4-37β.



Εικόνα 4-37γ.



Εικόνα 4-37δ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

302 ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ.

Αστοχία που οφείλεται στα φορτία λειτουργίας.

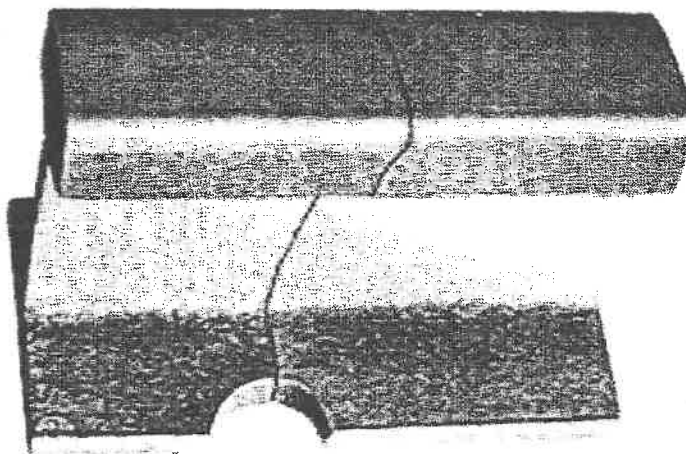
Ακατάλληλη διάτρηση του πέλματος ή του κορμού της σιδηροτροχιάς στη γραμμή, ελαττωματική κοπή ή χρήση μίας ακατάλληλης τεχνικής (φλόγιστρο κοπής για παράδειγμα (εικόνα 4-38β και γ)), διάτρηση διδύμων οπών αμφιδετών ή άλλων μη αποδεκτών μηχανισμών επεξεργασίας, γενικά οδηγούν σε ρηγμάτωση και θραύση της σιδηροτροχιάς είτε με δημιουργία εγκοπών είτε με μείωση του προφίλ.

Μέσα ανίχνευσης:

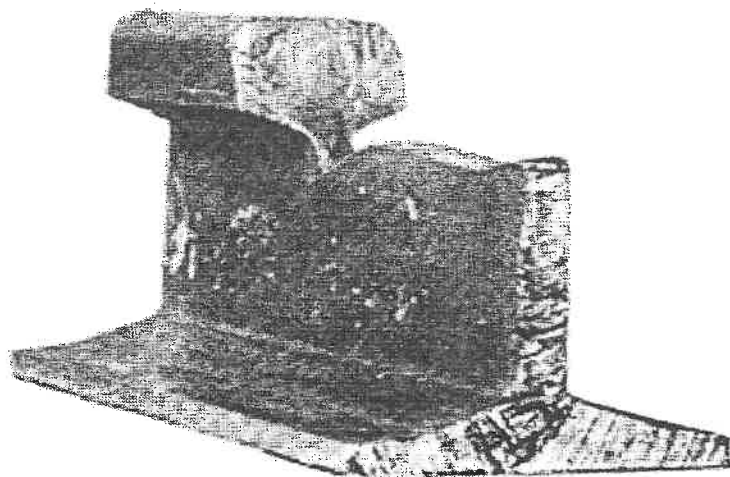
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

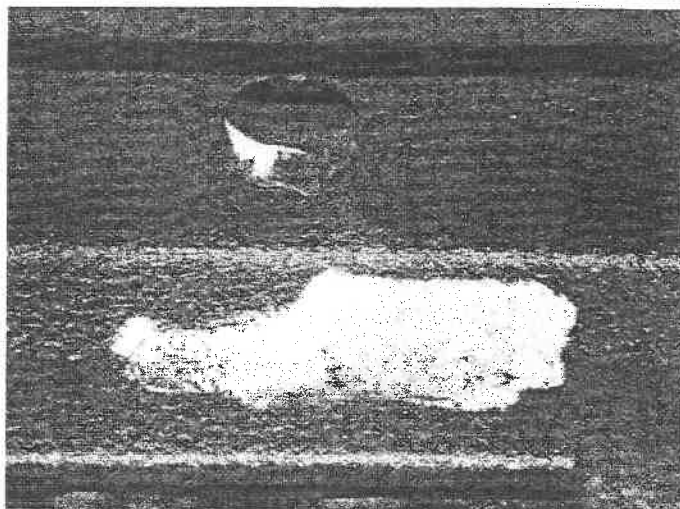
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-38α



Εικόνα 4-38β



*Εικόνα 4-38γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).*

303 ΜΟΝΙΜΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ).

Οι μόνιμες παραμορφώσεις της σιδηροτροχιάς, που οφείλονται σε ατυχήματα, εκτροχιασμούς, ελαττωματική συντήρηση ή άλλα εξωτερικά αίτια, γενικά δεν θεωρούνται αστοχίες. Στρεβλώνουν την ευθυγραμμία της γραμμής και μπορεί να είναι η πηγή προέλευσης άλλων αστοχιών λόγω αυξημένων τάσεων στη γραμμή.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος και μέτρηση των παραμορφώσεων.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-39.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

4.2.4.4. Αστοχίες Κόλλησης και Επαναφοράς Επιφανείας.

41 ΗΛΕΚΤΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ.

411 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ.

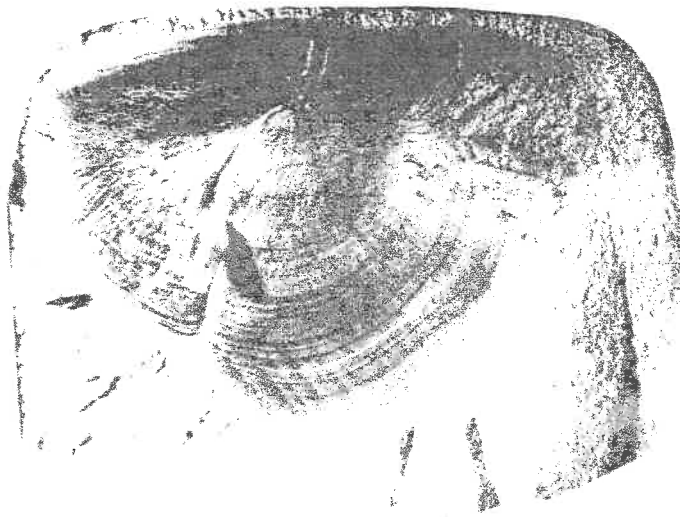
Η ρηγμάτωση αναπτύσσεται στο μέσο της κόλλησης είτε από μία εσωτερική αστοχία της κεφαλής στην κόλληση (εικόνα 4-40α), είτε από μία αστοχία στο πέλμα της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-40β). Τελικά οδηγεί σε ολική θραύση του τμήματος. Η μορφή της θραύσης χαρακτηρίζεται είτε από ένα επίπεδο και ζωηρό σημάδι στην κεφαλή (εικόνα 4-40α) είτε από ένα σκούρο σημάδι στο πέλμα (εικόνα 4-40β).

Μέσα ανίχνευσης:

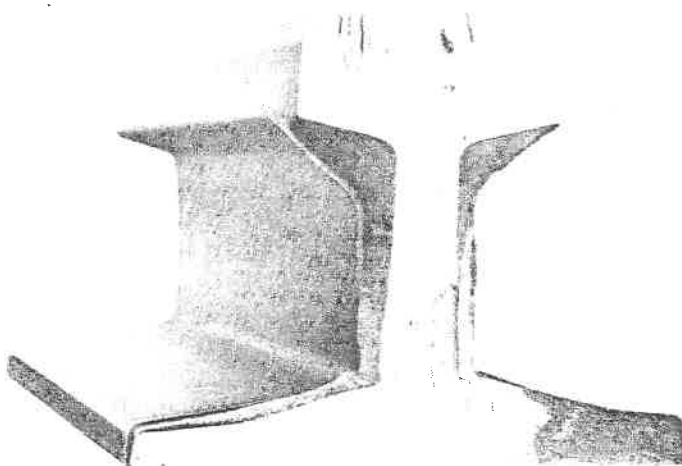
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της αστοχίας υπό συνεχή παρακολούθηση,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης και άμεση αφαίρεση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- επιδιόρθωση της ραγισμένης ή σπασμένης κόλλησης με συγκόλληση όπου αυτό είναι δυνατόν (ρωγμή ή σπάσιμο που χωροθετείται σε σημείο κοντά σε ένωση σιδηροτροχιών).



Εικόνα 4-40α.



Εικόνα 4-40β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

412 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

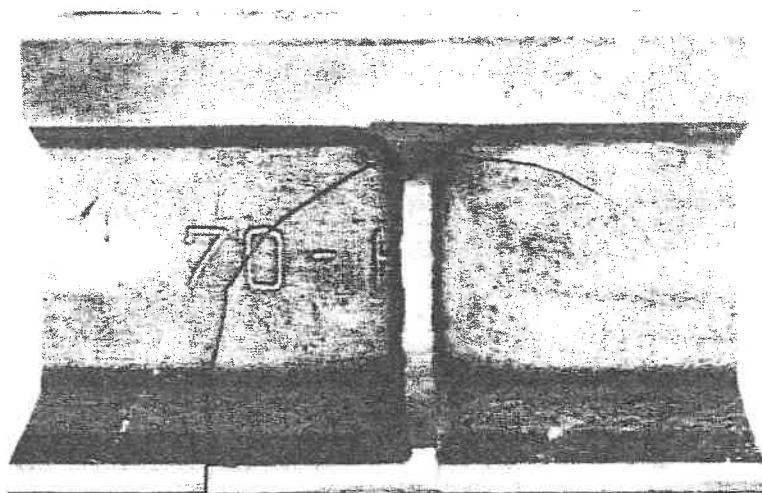
Αυτή η αστοχία αναπτύσσεται κατά μήκος της κόλλησης και παίρνει ένα καμπυλωτό σχήμα στον κορμό. Καθώς εξαπλώνεται, μπορεί να στρίψει προς τα κάτω (εικόνα 4-41α) ή προς τα πάνω (εικόνα 4-41β), ή ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις (εικόνα 4-41γ). Τελικά οδηγεί σε θραύση της σιδηροτροχιάς κοντά στην κόλληση.

Μέσα ανίχνευσης:

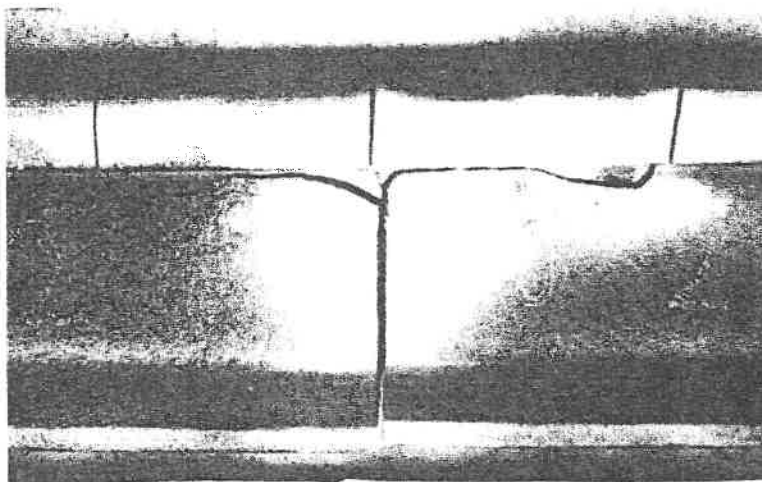
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

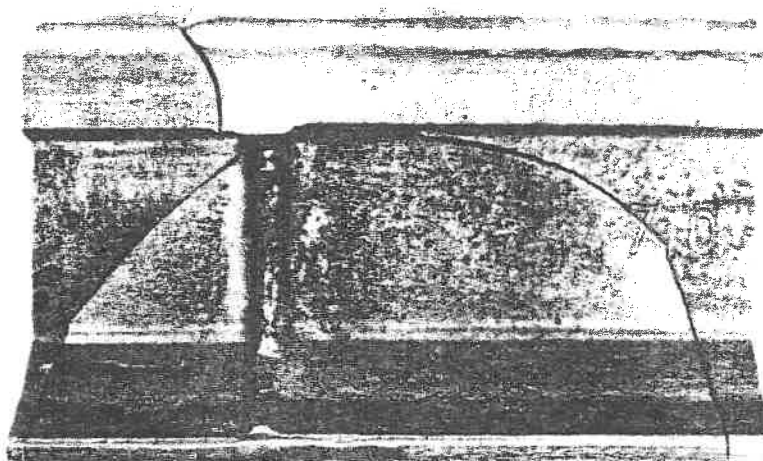
- αφαίρεση της ραγισμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος.



Εικόνα 4-41α



Εικόνα 4-41β.



*Εικόνα 4-41γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).*

42 ΑΛΟΥΜΙΝΟΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ.421 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ.

Αυτή η αστοχία αναπτύσσεται κατά μήκος μίας γραμμής κοντά στην ένωση δύο σιδηροτροχιών. Τελικά οδηγεί σε θραύση του προφίλ.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτής της αστοχίας δίνονται παρακάτω:

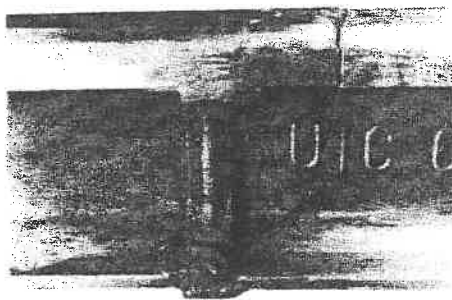
- ρωγμή που έχει πηγή προέλευσης το πέλμα και αναπτύσσεται εγκάρσια στις παράπλευρες σιδηροτροχιές (εικόνα 4-42α).
- ρωγμή που εμφανίζεται κάθετα στην κόλληση (εικόνα 4-42β,γ,δ).
- ρωγμή που εμφανίζεται κάθετα κοντά στην κόλληση (εικόνα 4-42ε).

Μέσα ανίχνευσης:

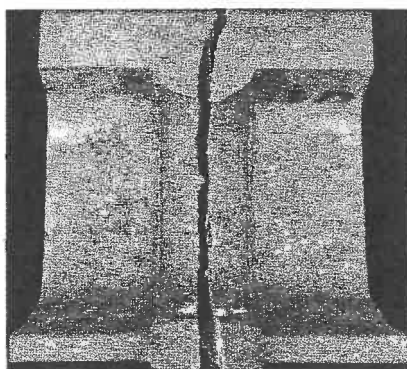
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της αστοχίας υπό συνεχή παρακολούθηση,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης και άμεση αφαίρεση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- επιδιόρθωση της ραγισμένης ή σπασμένης κόλλησης με συγκόλληση όπου αυτό είναι δυνατόν (ρωγμή ή σπάσιμο που χωροθετείται σε σημείο κοντά σε ένωση σιδηροτροχιών).



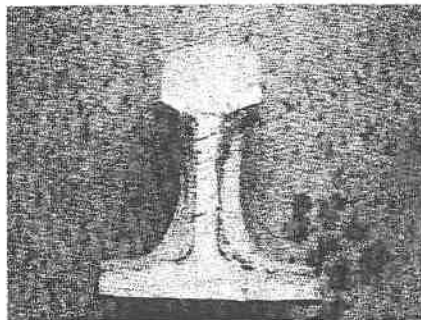
Εικόνα 4-42^α



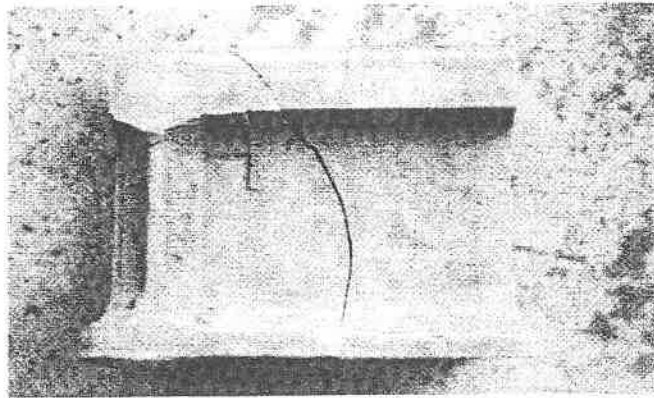
Εικόνα 4-42^β



Εικόνα 4-42^γ



Εικόνα 4-42^δ



Εικόνα 4-42ε.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

422 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

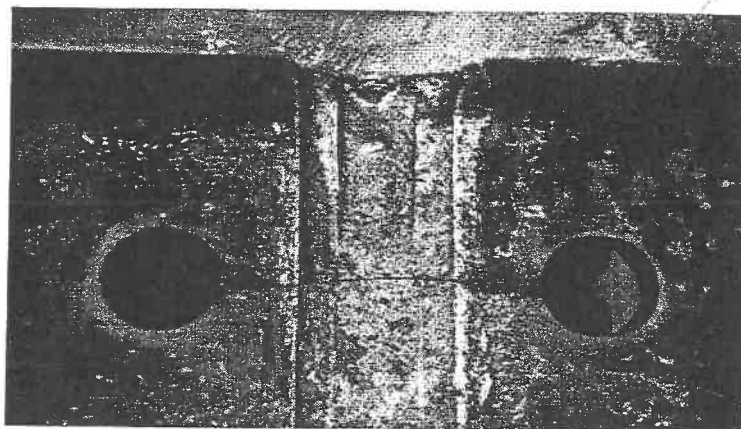
Αυτή η αστοχία εμφανίζεται συνήθως σε συγκολλημένες σιδηροτροχιές των οποίων τα άκρα δεν έχουν αποκοπεί πριν τη συγκόλληση. Αυτή η ρωγμή, που συνήθως συνδέει τις οπές των αμφιδετών κατά μήκος της κόλλησης (εικόνα 4-43α), μπορεί να διαδοθεί στο πέλμα ή στην κεφαλή των παράπλευρων σιδηροτροχιών και να οδηγήσει σε θραύση. Μπορεί επίσης να βρεθεί, αν και πολύ λιγότερο συχνά, σε κολλήσεις μη διατρημένων σιδηροτροχιών (εικόνα 4-43γ). Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να εξελιχθεί σε μικρή ρωγμή σε κατακόρυφη διάταξη και να οδηγήσει σε θραύση.

Μέσα ανίχνευσης:

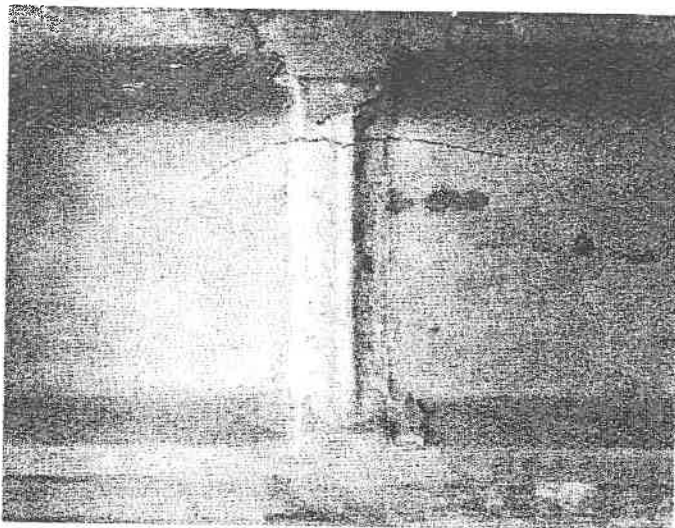
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

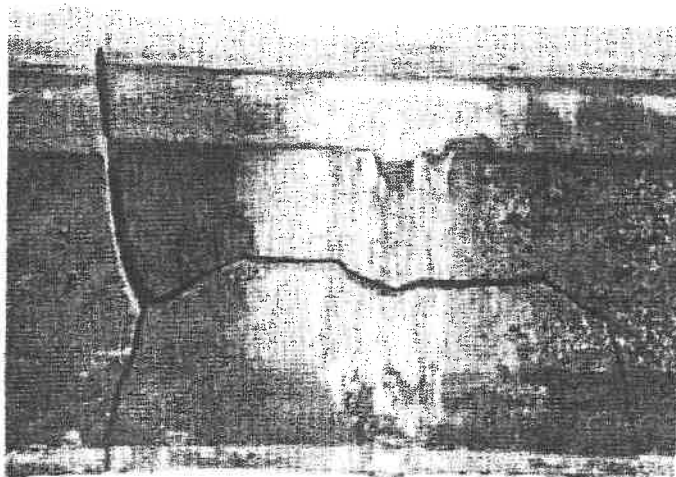
- άμεση αφαίρεση της ραγισμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος.



Εικόνα 4-43α



Εικόνα 4-43β.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).



Εικόνα 4-43γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

43 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ.

431 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ.

Αυτή η αστοχία εμφανίζεται σε κολλήσεις που έγιναν με ή χωρίς χάλκευση του πέλματος. Η ρηγμάτωση συνήθως αναπτύσσεται στην περιφέρεια της κόλλησης. Τελικά οδηγεί σε θραύση του προφίλ. Η περιοχή θραύσης αναγνωρίζεται συνήθως από ένα σκούρο σημάδι χαρακτηριστικό μιας ρωγμής κόπωσης που έχει πηγή προέλευσης μία αστοχία κόλλησης (εγκλεισμοί, πορώδες, κ.τ.λ.).

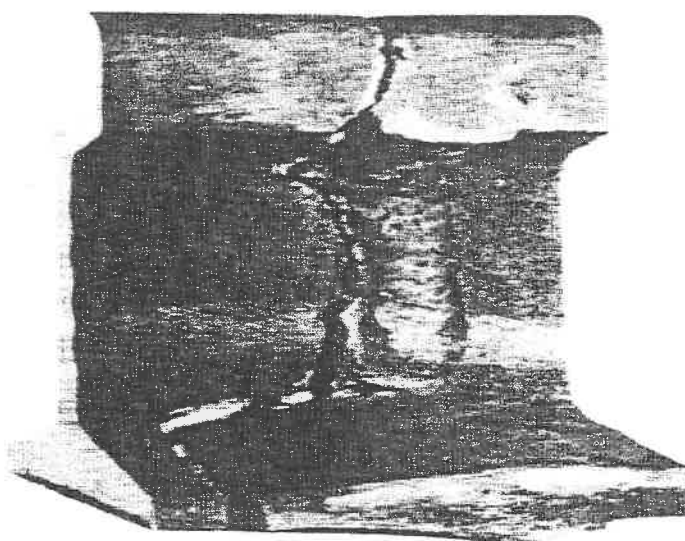
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,

- έλεγχος με υπέρηχους, που επιβεβαιώνεται με τοπικό έλεγχο.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- διατήρηση της αστοχίας υπό συνεχή παρακολούθηση,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης και άμεση αφαίρεση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- επιδιόρθωση της ραγισμένης ή σπασμένης κόλλησης με συγκόλληση όπου αυτό είναι δυνατόν, με την προϋπόθεση ότι η συγκόλληση εκτελείται χωρίς χάλκευση του πέλματος (ρωγμή ή σπάσιμο που χωροθετείται σε σημείο κοντά σε ένωση σιδηροτροχιών).



Εικόνα 4-44.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

432 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ.

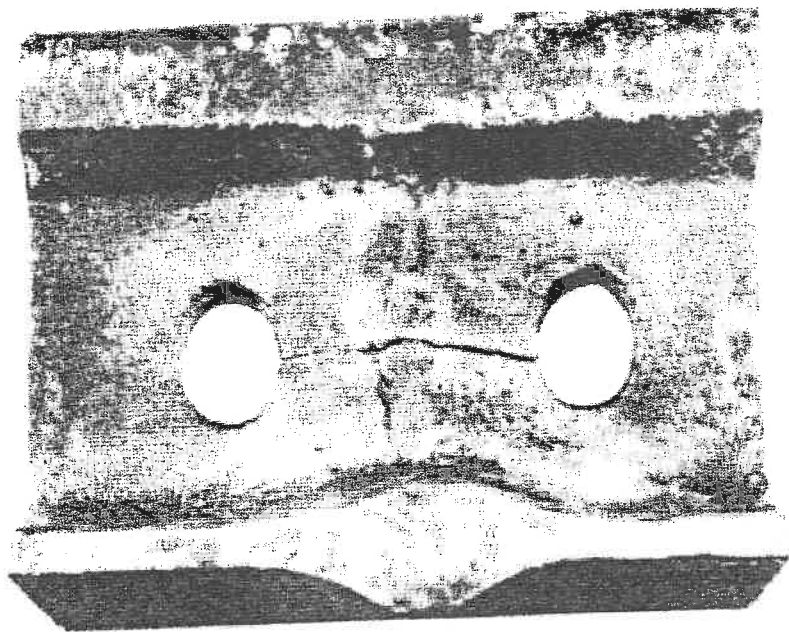
Αυτή η αστοχία εμφανίζεται συνήθως σε συγκολλημένες σιδηροτροχιές των οποίων τα άκρα δεν έχουν αποκοπεί πριν τη συγκόλληση. Αυτή η ρωγμή, που συνήθως συνδέει τις οπές των αμφιδετών κατά μήκος της κόλλησης, μπορεί να διαδοθεί στο πέλμα ή στην κεφαλή των παράπλευρων σιδηροτροχιών και να οδηγήσει σε θραύση.

Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- άμεση αφαίρεση της ραγισμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος,
- απαγόρευση της κυκλοφορίας και άμεση απόσυρση της σπασμένης κόλλησης με επίστρωση νέου τμήματος.



*Εικόνα 4-45.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).*

47 ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

471 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ.

Αυτή η εγκάρσια ρηγμάτωση κόπωσης κατά μήκος της επαναφερόμενης επιφάνειας έχει ως πηγή προέλευσης ένα πυρήνα που συνήθως χωροθετείται στη βάση της κόλλησης. Αυτός ο πυρήνας μπορεί να είναι ένας εγκλεισμός, μία τοπική ασυνέχεια που οφείλεται σε αστάθεια του συγκολλητή, ή ένα ξεφλούδισμα που οφείλεται σε ακατάλληλη θέρμανση. Μπορεί να ξεκινάει από ένα σφαιροειδή κρατήρα ή από συρρικνωμένες ρωγμές. Καθώς αναπτύσσεται η ρηγμάτωση, οδηγεί τελικά σε θραύση της σιδηροτροχιάς. Η θραύση χαρακτηρίζεται από μία επίπεδη, φωτεινή κηλίδα που έχει πηγή προέλευσης την κόλληση.

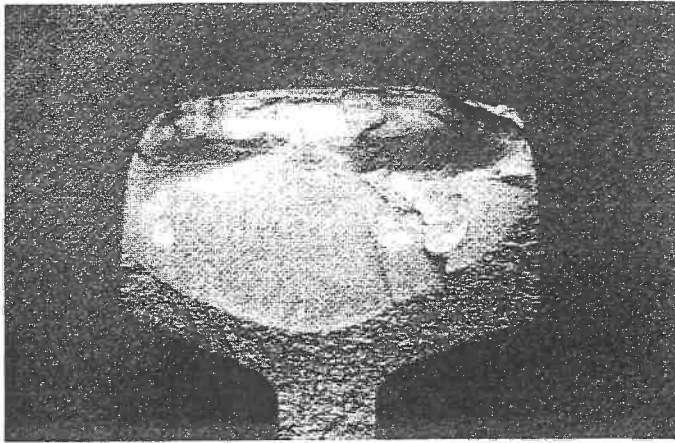
Μέσα ανίχνευσης:

- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

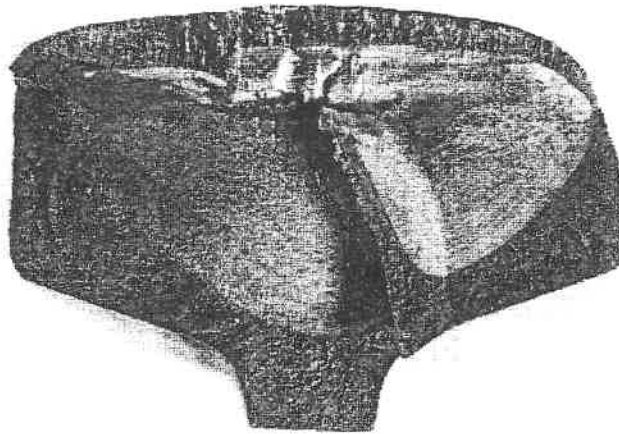
Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

Εξαρτάται από το βαθμό εξέλιξης της αστοχίας (-ών):

- διατήρηση της αστοχίας υπό συνεχή παρακολούθηση,
- εφαρμογή προσωρινής αμφιδέτησης,
- απόσυρση της σιδηροτροχιάς,
- άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-46α



Εικόνα 4-46β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

472 ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ Ή ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ.

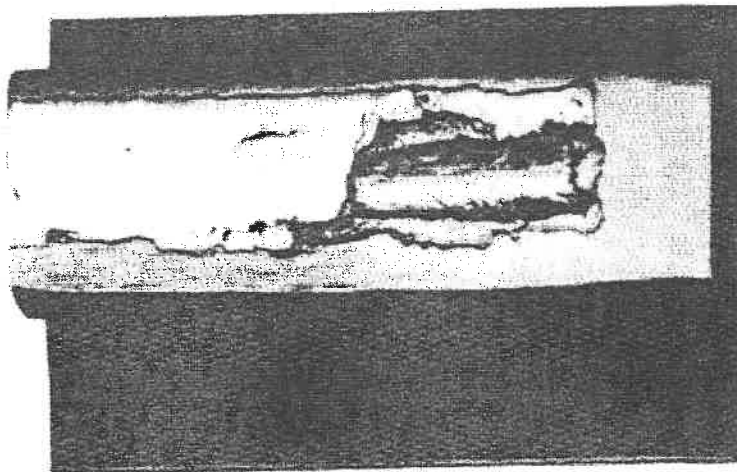
Αυτή η ρωγμή, που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση της σιδηροτροχιάς, συνήθως είναι εξέλιξη αστοχιών αρχικής κόλλησης του μετάλλου ή άλλων αστοχιών κόλλησης (πορώδες, εγκλεισμοί, συρρικνωμένες ρωγμές, ρωγμές με μορφή κρατήρα, κ.τ.λ.).

Μέσα ανίχνευσης:

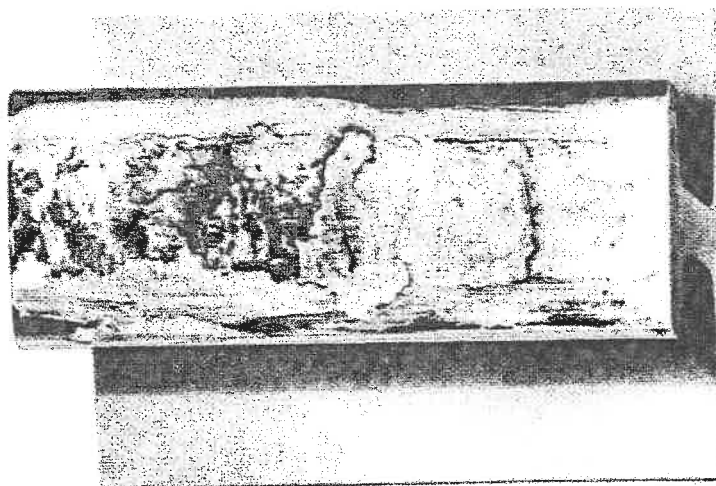
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

- κάθε αποκόλληση ή αποφλοιώση του επαναφερόμενου τμήματος μπορεί να επιδιορθωθεί με νέα επαναφορά επιφάνειας μετά από αφαίρεση της αστοχίας κάτω από το αρχικό μέταλλο,
- όταν αυτή η ενέργεια δεν είναι δυνατή, άμεση απόσυρση της σπασμένης σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-47α



Εικόνα 4-47β.

(Πηγή: UIC CODE, 712R).

48 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.

481 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΣΕ ΓΕΦΥΡΩΣΗ.

Προοδευτική εγκάρσια ρηγμάτωση που έχει πηγή προέλευσης την εξωτερική επιφάνεια της κεφαλής της σιδηροτροχιάς (εικόνα 4-48α), το ένα πρόσωπο του κορμού (εικόνα 4-48β), ή μία από τις στεφάνες του πέλματος (εικόνα 4-48γ) σε ορθές γωνίες με γεφύρωση για ρεύμα επαναφοράς.

Η εξέλιξη αυτής της ρωγμής μπορεί τελικά να οδηγήσει σε θραύση της σιδηροτροχιάς.

Μέσα ανίχνευσης:

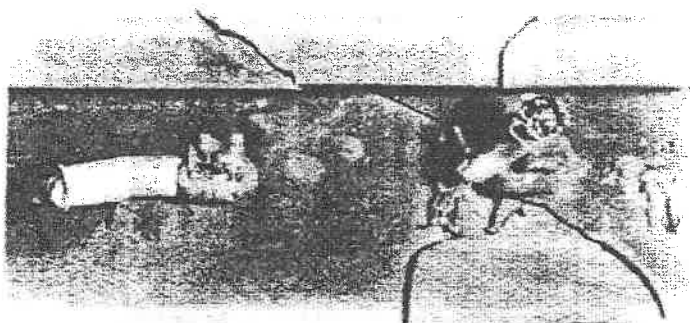
- οπτικός έλεγχος,
- έλεγχος με υπέρηχους για ρωγμές στην κεφαλή και τον κορμό.

Προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσης:

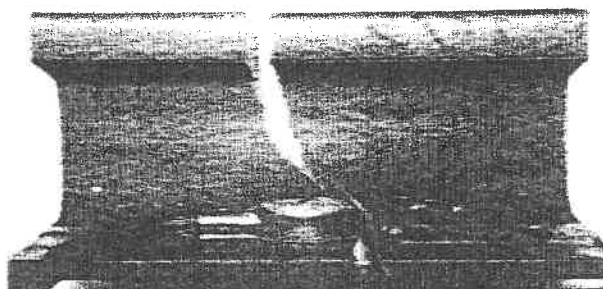
- άμεση απόσυρση της σιδηροτροχιάς.



Εικόνα 4-48α



Εικόνα 4-48β



Εικόνα 4-48γ.
(Πηγή: UIC CODE, 712R).

5. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΑΣ. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ.

Η σιδηροτροχιά αποτελεί μια κεφαλαιώδη επένδυση και συνεπάγεται αρκετές δαπάνες κυρίως συντήρησης. Ως εκ τούτου η διάρκεια ζωής και η κατάλληλη επιλογή και χρήση της σιδηροτροχιάς αποτελούν σημαντικά ζητήματα.

5.1. Επιλογή της Σιδηροτροχιάς.

Το βάρος και η διατομή της σιδηροτροχιάς που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση είναι συνάρτηση του φορτίου κυκλοφορίας –ένταση, ταχύτητα, είδος συρμού, φορτία αξόνων- του περιβάλλοντος (καμπυλότητα, κλίση της σιδηροδρομικής γραμμής, διαμόρφωση της υποδομής, έρμα), και των απαιτήσεων ασφαλείας. Αυτές οι απαιτήσεις μεταφράζονται σε δαπάνες στις οποίες η αρχική δαπάνη και οι δαπάνες συντήρησης της γραμμής θα πρέπει να διατηρούνται σε ισορροπία.

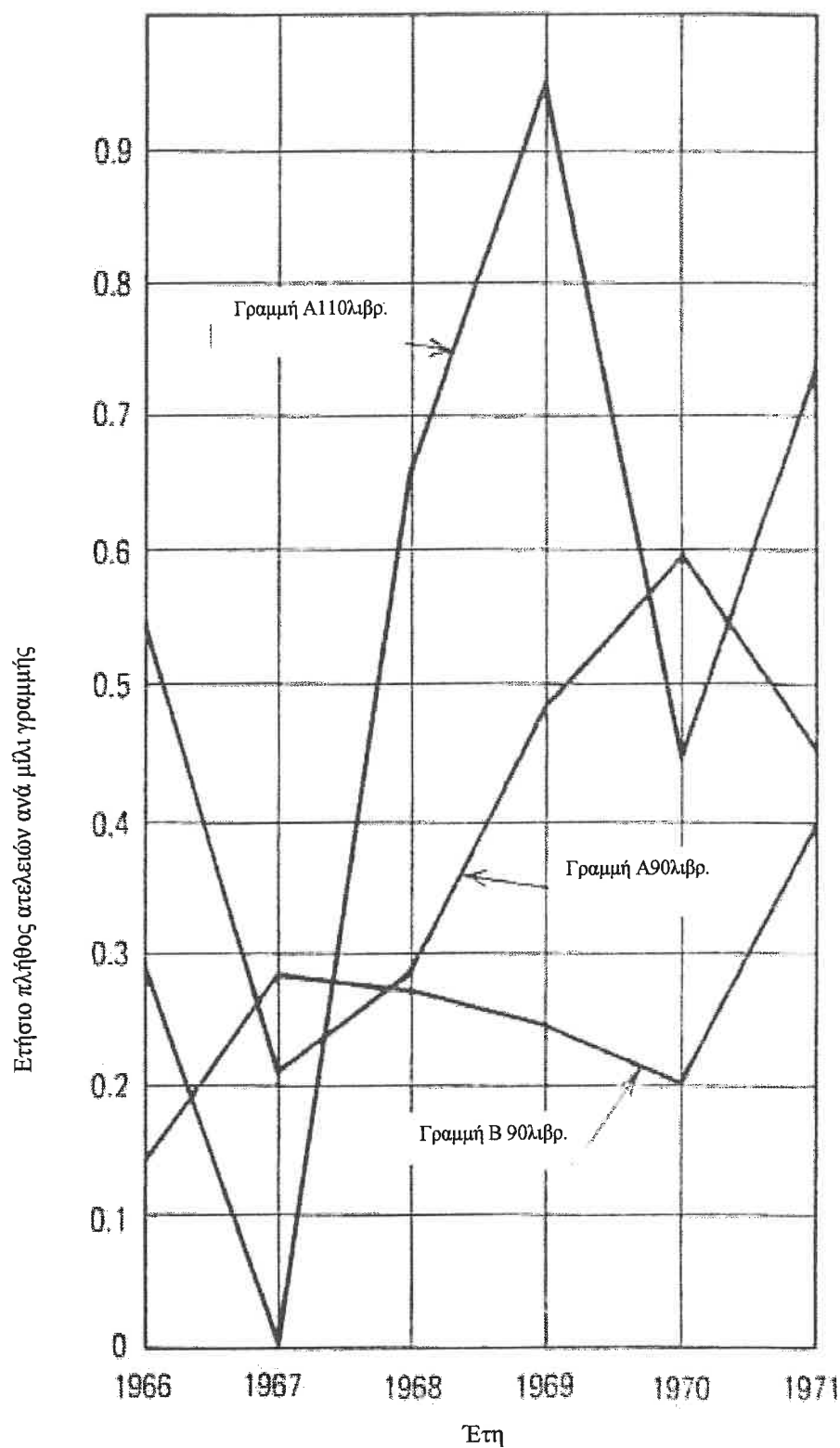
Μια σοβαρή ένδειξη των οικονομιών που πραγματοποιούνται στη συντήρηση από τη χρήση των βαρύτερων σιδηροτροχιών βρέθηκε στα αποτελέσματα μιας μελέτης που έγινε από την Επιτροπή Σιδηροτροχιάς AREA σε συνεργασία με τον Κεντρικό Σιδηρόδρομο του Ιλλινόις [1]. Σε δύο διατομές γραμμής των 20-μιλίων η καθεμιά πάνω στο ίδιο τμήμα, με σχεδόν ίδιες φυσικές και λειτουργικές συνθήκες, στη μία είχε τοποθετηθεί μια σιδηροτροχιά 112 λιβρών και στην άλλη μια 131 λιβρών. Η έκθεση για τις δαπάνες συντήρησης και τοποθέτησης της σιδηροτροχιάς που πάρθηκε από τα αρχεία του σιδηροδρόμου υποδεικνύει, σύμφωνα με την επιτροπή, ότι οι δαπάνες της σιδηροτροχιάς των 131 λιβρών ήταν 1800\$ ανά μίλι γραμμής μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της σιδηροτροχιάς των 112 λιβρών αλλά στο τέλος τεσσάρων ετών ο μέσος όρος της ετήσιας δαπάνης συντήρησης ήταν 210 εργατοώρες λιγότερες ανά μίλι γραμμής.

Μια μελέτη πραγματοποιήθηκε στον Νότιο Σιδηρόδρομο του Κάνσας το 1929 από τον G.M.Magee υπό την καθοδήγηση του A.N.Reece, αρχιμηχανικού, για να προσδιοριστεί η καθαρή οικονομική αξία των διαφορετικών διατομών σιδηροτροχιάς ανά μίλι γραμμής ανά εκατομμύριο αγκλικών τόνων κυκλοφορίας [2]. Οι δοκιμές έδειξαν ότι καθώς το βάρος της σιδηροτροχιάς αυξανόταν, τα ποσοστά των εξόδων για αντικατάσταση των συνδέσμων, την συντήρηση της εγκατάστασης, την εργασία στην γραμμή και την λειτουργία του συρμού, μειώνονταν έως ότου έφτασαν το βάρος της διατομής των 137 λιβρών, μετά το οποίο παρατηρήθηκε μια αύξηση. Από αυτά τα στοιχεία παρατηρήθηκε ότι μια σιδηροτροχιά με ροπή αδρανείας $I = 100$ ήταν η πιο οικονομική για τις συνθήκες του Νότιου Σιδηροδρόμου του Κάνσας. Η τιμή $I = 100$ αντιστοιχεί σε διατομή σιδηροτροχιάς 137 λιβρών. Οι μεγαλύτερες δαπάνες των σιδηροτροχιών που διαφοροποιούνταν λίγες λίβρες από αυτό το μέγεθος δεν

ήταν, εντούτοις, υπερβολικές, έτσι ώστε ο σιδηρόδρομος ήταν σε θέση να επιλέξει μια διατομή που ήταν ήδη κυλινδρωμένη (μια των 127-λιβρών Dudley με τιμή της $I=85$). Με σκοπό να προσδιοριστεί το ακριβές μέγεθος που θα ταίριαζε καλύτερα σε οποιονδήποτε σιδηρόδρομο, θα έπρεπε να γίνει μια παρόμοια λεπτομερής μελέτη λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες, τιμές και μεθόδους. Εντούτοις είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι τα κοινώς αποδεκτά βάρη για τα σύγχρονα σιδηροδρομικά δίκτυα των υψηλών-ταχυτήτων κυμαίνονται γενικά εντός του εύρους των 130-140 λιβρών. Η λειτουργία βαγονιών μεγάλης χωρητικότητας (100 τόνων ή περισσότερο) ή ενιαίων συρμών συνήθως απαιτεί βαριά δόμηση της γραμμής, που περιλαμβάνει βάρη σιδηροτροχιών από 132 λίβρες /γιάρδα ή και μεγαλύτερα.

Η εξίσωση (2.4) δείχνει την επιτρεπόμενη τάση κάμψεως που εξαρτάται ανάλογα της ροπής κάμψεως και αντιστρόφως ανάλογα της ροπής αδράνειας της σιδηροτροχιάς. Η ροπή κάμψης είναι άμεση συνάρτηση του φορτίου τροχού και της τέταρτης ρίζας της ακαμψίας της σιδηροτροχιάς, δηλαδή της ροπής αδράνειας. Οι σχέσεις που εξάγονται φαίνονται στο σχήμα 5.1. όπου η τάση κάμψεως για φορτίο τροχού 32,000 λιβρών παριστάνεται γραφικά για διάφορες τιμές της ροπής αδράνειας. Αυτές εξισώνονται με μια σειρά από τυπικά βάρη σιδηροτροχιάς

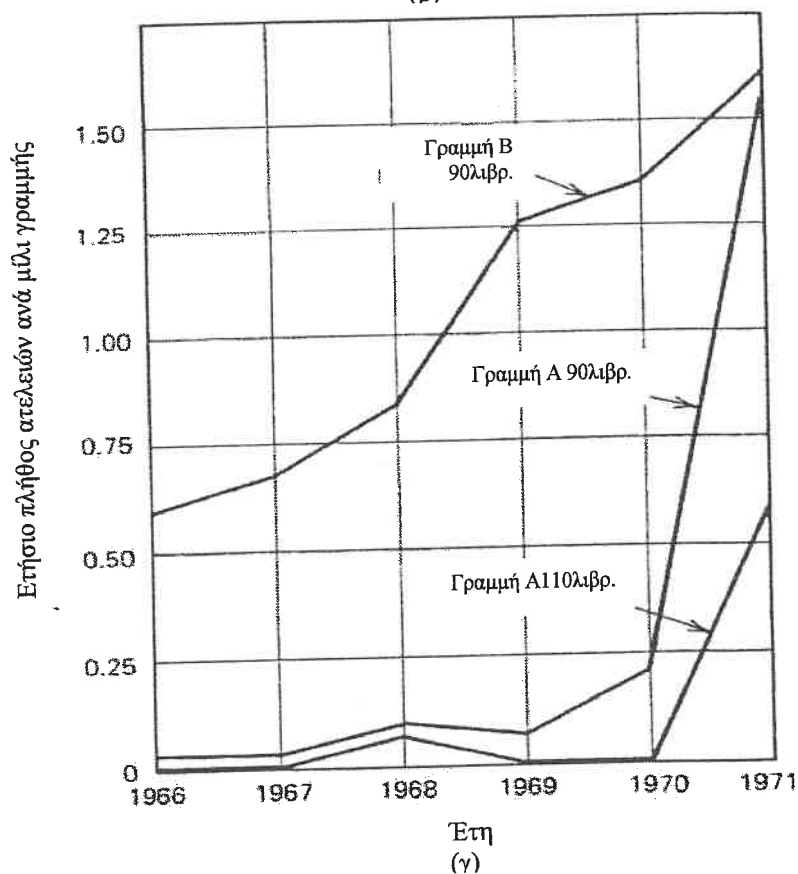
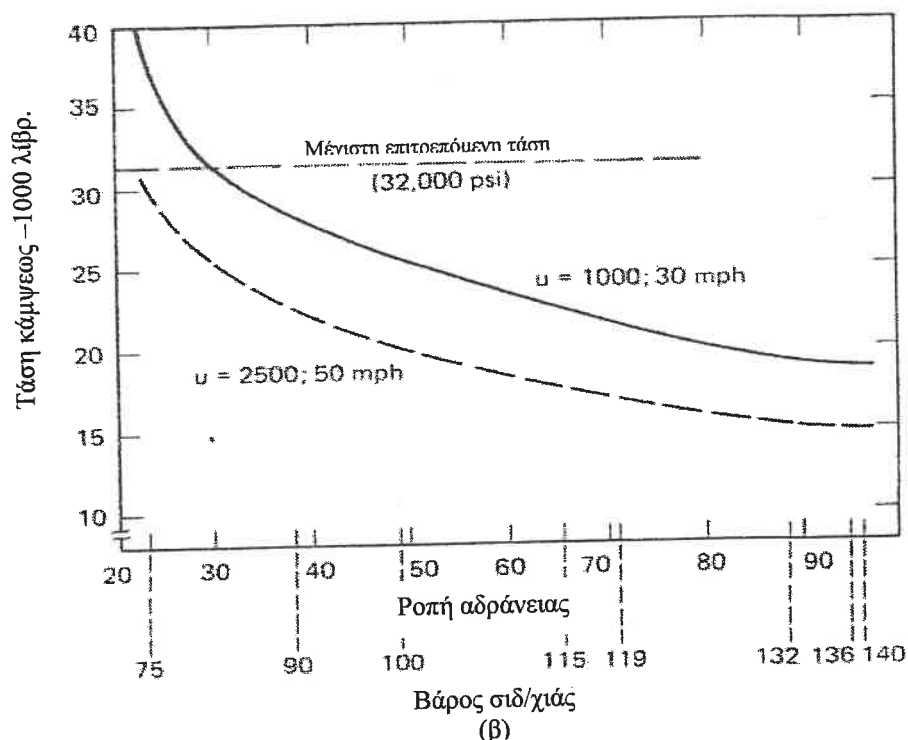
Η συνήθης πρακτική απαιτεί κλιμακωτή χρήση της σιδηροτροχιάς από την κύρια γραμμή σε δευτερεύουσες γραμμές και διακλαδώσεις. Τελικά στις γραμμές αυτές θα στρωθεί εξ ολοκλήρου σιδηροτροχιά υψηλού βάρους από την άλλη όμως πολλές γραμμές διακλαδώσεων διατηρούν μια ελαφριά σιδηροτροχιά, συχνά ελαφρύτερη από 90 λίβρες. Ως εκ τούτου σε αυτές τις γραμμές έχει παρατηρηθεί μια έντονη αύξηση σε ελαττωματικές σιδηροτροχιές –εγκάρσιες ρωγμές, σπασίματα των οπών των κοχλιών, κατακόρυφα και οριζόντια διαχωρισμένες κεφαλές, σπασμένες ράβδοι συναρμογής- και σε εκτροχιασμούς. Το σχήμα 5.1 δείχνει την έντονη αύξηση σε αστοχίες σιδηροτροχιάς που ακολούθησαν την εισαγωγή βαγονιών 90-100 τόνων πάνω σε δύο γραμμές διακλάδωσης οι οποίες είχαν στρωθεί με σιδηροτροχιά 90 και 110 λιβρών. Βαγόνια αυτής της τάξης χωρητικότητας αποτελούν εξαιρετικούς ανιχνευτές των ατελειών ελαφριάς σιδηροτροχιάς.



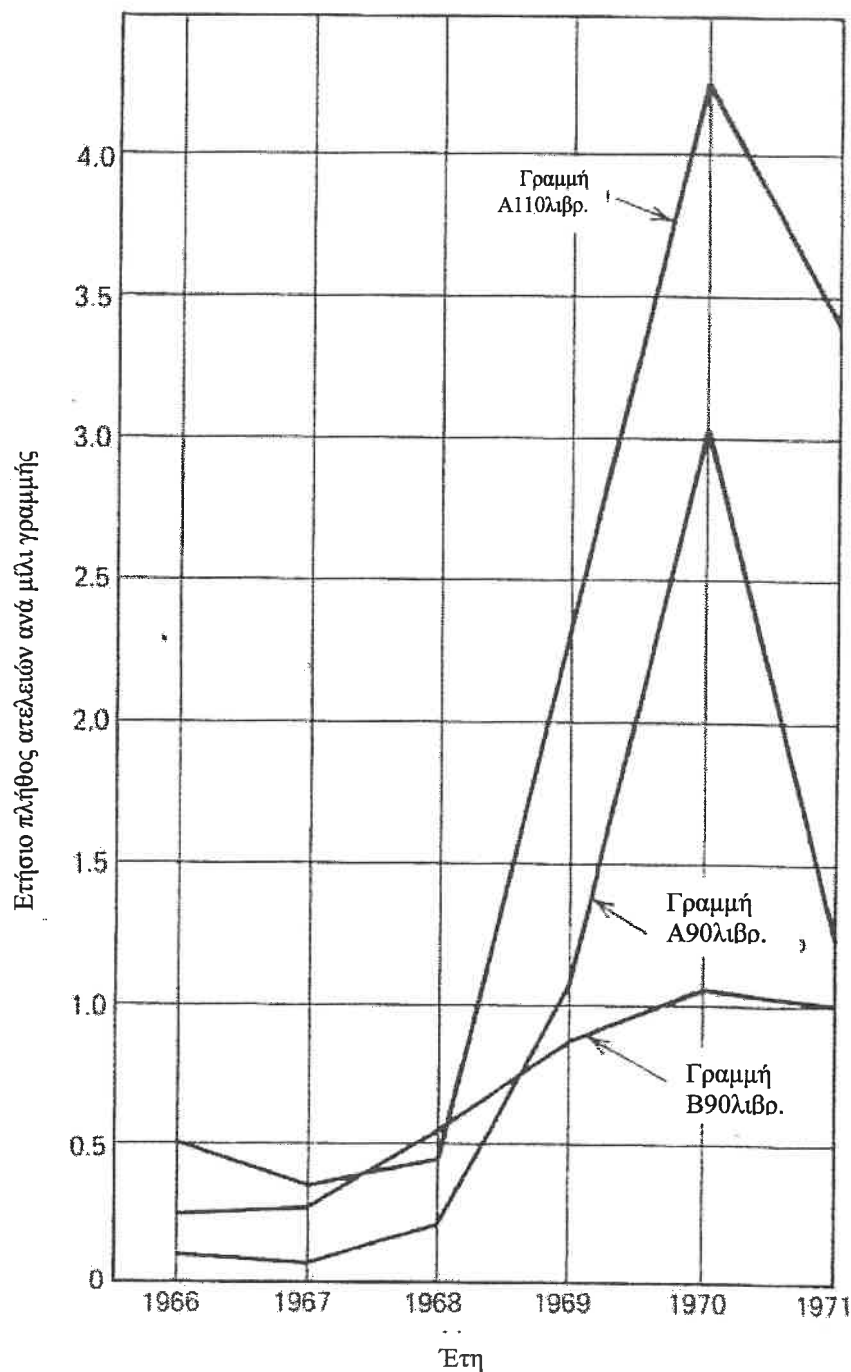
(α)

Σχήμα 5.1. (α) αστοχίες σιδ/χιάς που ακολουθούν την εισαγωγή μεγάλης χωρητικότητας βαγονιών το 1967.

Τάση κάμψεως έναντι ροπής αδράνειας (και βάρους σιδηροτροχιάς)
για φορτίο ανά τροχό 30,000 λίβρες
και για τροχό 36 ίντσών.



σχήμα 5.1. (β), (γ).



(δ).

Σχήμα 5.1. (β) τάση κάμψεως έναντι ροπής αδρανείας, (γ), (δ) αστοχίες σιδ/χιάς που ακολουθούν την εισαγωγή μεγάλης χωρητικότητας βαγονιών το 1967.

(Πηγή: A. N. Reece, "Economic Selection of Rail", Proceedings of the AREA.).

Η σιδηροτροχιά που ανήκει στην κατηγορία 90-110 λιβρών θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε εκείνες τις τοποθεσίες όπου δεν είναι πιθανόν να λειτουργήσουν βαγόνια χωρητικότητας 100-τόνων. Οι γραμμές κορμού στους σταθμούς συνθέσεως συρμών, εξαιτίας των μικρών ταχυτήτων που εφαρμόζονται, μπορεί να χρησιμοποιούν σιδηροτροχιά 100-115 λιβρών. Τα

πολύ ελαφρύτερα φορτία και οι σχετικά χαμηλές ταχύτητες που εφαρμόζονται στις γραμμές ελαφριάς –σιδηροτροχιάς και ταχείας διελεύσεως υποδεικνύουν ότι κατάλληλο βάρος σιδηροτροχιάς γι' αυτές αποτελούν οι 90-115 λίβρες.

Εκεί όπου συναντώνται βαριά φορτία κυκλοφορίας, και/ ή οι επί μακρόν μεγάλες κλίσεις της σιδηροδρομικής γραμμής και οι μεγάλες εντάσεις κυκλοφορίας, η φθορά λόγω εκδορών αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή της σιδηροτροχιάς. Το αυξημένο πλάτος της κεφαλής αντιτίθεται στη φθορά της καμπύλης και βοηθά στην παράταση της διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς. Πυκνότητες κυκλοφορίας των 10-20 εκατομμυρίων αγγλικών τόνων δικαιολογούν διατομές των 115 λιβρών ή και μεγαλύτερες, ενώ οι πυκνότητες των 20-25 εκ.αγγλ.τον. απαιτούν διατομές των 132 λιβρών ή μεγαλύτερες. Για μεγάλη καμπυλότητα που συνοδεύεται από χωρητικότητες πάνω από 35 εκ.αγγλ.τον. ετησίως, απαιτούνται σιδηροτροχιές βάρους 136-140 λιβρών.

5.2. Διάρκεια Ζωής της Σιδηροτροχιάς.

Η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς συνήθως εκφράζεται σε εκατομμύρια μεταφερόμενων αγγλικών τόνων. Το μέγεθος αυτό διαιρούμενο με την ετήσια χωρητικότητα κυκλοφορίας δίνει τη διάρκεια ζωής σε έτη. Η διάρκεια ζωής μπορεί να ταυτιστεί είτε με την διάρκεια ζωής της κύριας γραμμής, είτε με την ολική διάρκεια ζωής που περιλαμβάνει τη διάρκεια ζωής της κύριας γραμμής, των δευτερευόντων γραμμών, των σταθμών συνθέσεως συρμών, και των παρακαμπτηρίων.

Η συχνότητα της επισκευής της σιδηροτροχιάς ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες κυκλοφορίας (χωρητικότητα, φορτία αξόνων, ταχύτητα), το σύνολο της καμπυλότητας, της κλίσης της γραμμής, της στήριξης της υποδομής και του έρματος, και τα πρότυπα της συντήρησης. Μια βαρύτερη σιδηροτροχιά συνήθως διαρκεί περισσότερο από μια ελαφριά. Μια σιδηροτροχιά μπορεί να μετακινηθεί νωρίς από την κύρια γραμμή για χρήση σε δευτερεύουσα γραμμή.

Από την άλλη και η διάμετρος των τροχών παίζει ρόλο στη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς. Ο C. J. Code και η από κοινού με την AAR Committee on Relations between Track and Equipment (Επιτροπή για τις σχέσεις ανάμεσα στη σιδηροδρομική γραμμή και στον εξοπλισμό) υποστήριξαν την εφαρμογή οριακών φορτίων κυκλοφορίας, (φορτίο ανά ίντσα διαμέτρου του τροχού), όπως φαίνεται στον πίνακα 5-1, και βασίστηκαν γενικά στις σχέσεις Hertzian. Η μελέτη της επιτροπής έδειξε μια σημαντική μείωση στη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς από την άποψη των περιόδων εφαρμογής του φορτίου όταν τα φορτία κυκλοφορίας ξεπερνούν τις τιμές του πίνακα 5-1. Επιπρόσθετες και επαληθευμένες μελέτες από τον Code το επιβεβαιώνουν (σχήμα 5.0). Αυτές οι συστάσεις δεν υιοθετήθηκαν από την AAR, αλλά τροχοί 36 ιντσών ή μεγαλύτεροι είναι υποχρεωτικοί από τον Ιανουάριο του 1961 σε καινούριους συρμούς με βαγόνια 4-τροχών που ξεπερνούν τους 70 τόνους σε ονομαστική

χωρητικότητα.

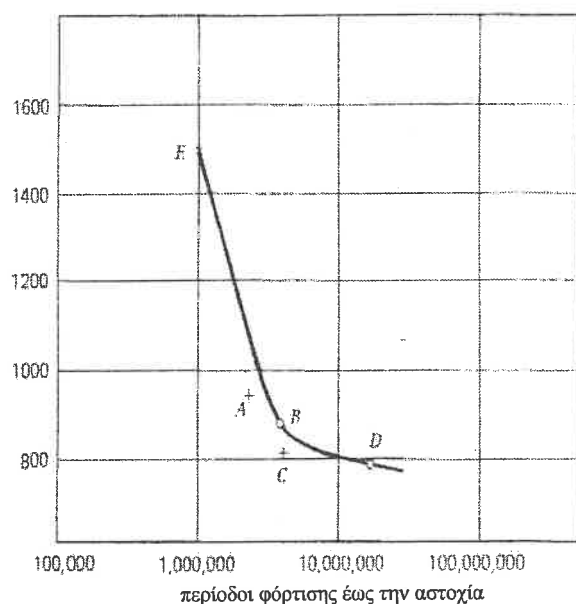
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1. Επιτρεπόμενο φορτίο ανά ίντσα διαμέτρου του τροχού

Διάμετρος τροχού (ίν)	Επιτρεπόμενο φορτίο ανά ίντσα διαμέτρου (λίβρ.)	Επιτρεπόμενο φορτίο ανά τροχό (λίβρ.)	Επιφάνεια επαφής ^β (τέτρ.ίν)
28 ^β	780	23,000	0,160
33	800	26,400	0,190
36	810	29,200	0,210
38	820	31,200	0,230
40 ^γ	825	33,000	0,240
42	830	34,900	0,250

^βεκτός των συστάσεων της Επιτροπής

^γδιάμετρος για τις περισσότερες νηξελοκίνητες ηλεκτρικές μηχανές.

(Πηγή: C. J. Code, "Wheel Load, Wheel Diameter, and Rail Damage", *Proceedings of the AREA*).



Σχήμα 5.0. διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς – φορτίο τροχού έναντι περιόδων εφαρμογής φόρτισης. A – 251,000λιβρών βαγόνι, τροχοί 33-ιντσών, 31,375 λίβρες ανά τροχό, B- 251,000λιβρών βαγόνι, τροχοί 36-ιντσών, 31,375λίβρες ανά τροχό, 872λιβ./ίν., C και D- 210,000λιβρών βαγόνι, τροχοί 33-ιντσών, 26,250 λίβρες ανά τροχό, 786λιβ./ίν., E- δοκιμή φορτίου κλίσεως, τροχοί 33-ιντσών, 50,000λίβρες ανά τροχό, 1515λιβ./ίν.

(Πηγή: C. J. Code, Lecture at the University of Illinois, 1960)

Η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς μπορεί να καθοριστεί από την φθορά εξαιτίας εκδορών, και από την φθορά της καμπύλης. Μπορεί επίσης να καθοριστεί από το φαινόμενο της κόπωσης του χάλυβα -εκτεταμένη επανάληψη πτυχώσεων που συνοδεύονται από το σχηματισμό ατελειών, που οφείλονται σε τάσεις επαφής και διατμήσεως.

Πριν τη χρήση των λιπαντήρων της καμπύλης η σιδηροτροχιά της καμπύλης

αφαιρούνταν συνήθως εξαιτίας των εκδορών. Μετά την εμφάνιση των λιπαντήρων της καμπύλης, το κύριο αίτιο για την αφαίρεση της σιδηροτροχιάς από τις καμπύλες αποτέλεσαν οι ατέλειες που σχετίζονταν με την κόπωση του μετάλλου της σιδηροτροχιάς.

Στις μέρες μας, που υπερисχύουν τα βαγόνια μεγάλης χωρητικότητας και οι ενιαίοι συρμοί, και κυρίως με την εφαρμογή των Σ.Σ.Σ.(συνεχώς συγκολλημένων σιδηροτροχιών), η κόπωση έχει γίνει ένας κύριος παράγοντας καθορισμού της διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς στην ευθυγραμμία, όπου η καινούρια σιδηροτροχιά εκτίθεται σε βαριά φόρτιση πριν αποκτήσει μια σκληρυμένη, λόγω κατεργασίας, επιφάνεια κυλίσεως. Στις καμπύλες όμως η φθορά λόγω εκδορών είναι τόσο έντονη στη σιδηροτροχιά ώστε οι τάσεις κοπώσεως δεν έχουν το χρόνο να αναπτυχθούν, οπότε αυτή δρα ως τον κύριο περιορισμό στη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς.



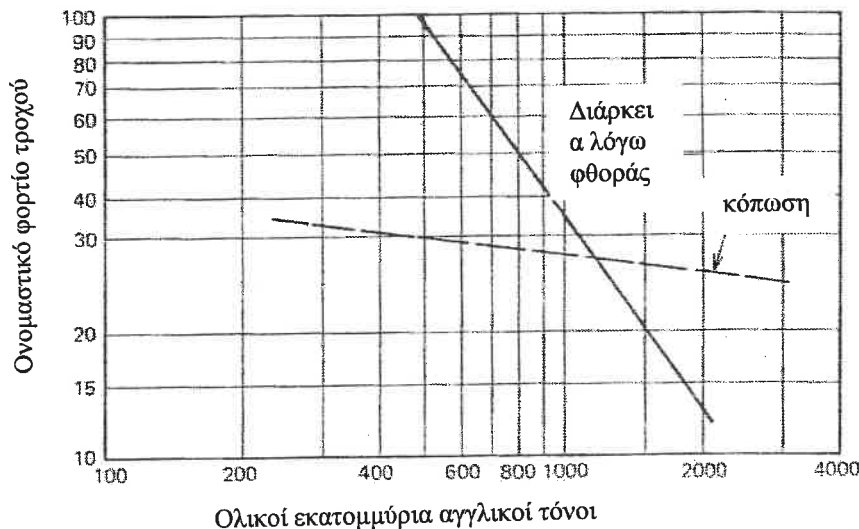
Σχήμα 5.2.σιδηροτροχιά φθαρμένης καμπύλης.

5.2.1. Παράγοντες Φθοράς της Σιδηροτροχιάς.

Η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς θα εξεταστεί πρώτα υπό τους όρους «συμβατικής» κυκλοφορίας, οι οποίοι είναι: γραμμή με συναρμογές που μεταφέρει ελαφριά (<30,000 λίβρες) φορτία ανά τροχό ή μια εναλλαγή από ελαφριά και βαριά φορτία, με τα ελαφριά φορτία να υπερисχύουν.

Στις ευθυγραμμίες και στις καμπύλες μέχρι 4^ο η άμεση φθορά (εκδορές) δεν έχει κάποια πρακτική επίπτωση στη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς. Η φθορά της επιφάνειας και της συναρμογής ξεκινά μετά το πέρασμα 100 mgt. Πάνω από τους 100εκ. τον.(mgt), οι εκδορές γίνονται σημαντικές κυρίως με την αύξηση της καμπυλότητας από 4^ο σε 7^ο. Η φθορά της καμπύλης αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για τη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς στις καμπύλες πάνω από 7^ο. Εφόσον, όμως, η καμπυλότητα πάνω από 7^ο είναι σχετικά σπάνια,

καταλήγουμε στο γενικό συμπέρασμα ότι η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς περιορίζεται από το φαινόμενο εκδοράς της επιφάνειας κυλίσεως, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με την κυκλοφορία.



Σχήμα 5.3. διάρκεια ζωής λόγω κόπωσης έναντι διάρκειας ζωής λόγω φθοράς για διάφορες φορτίσεις τροχού. Ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο στατικό φορτίο τροχού σε μια δεδομένη μείζη κυκλοφορίας που συνίσταται από ένα φάσμα φορτίων τροχού. (Πηγή: Allan M. Zarembski, "The Effects of Rail Section and Traffic on Rail Fatigue Life," AREA Bulletin.).

Η φθορά λόγω εκδορών ποικίλλει πάνω κάτω ανάλογα με το βαθμό της καμπύλης, αλλά κυρίως εξαρτάται από την ένταση της κυκλοφορίας και τα χαρακτηριστικά της και από το αν χρησιμοποιούνται λιπαντήρες καμπύλης ή όχι. Ο πίνακας 5-2 δίνει την αποδεκτή διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς καμπύλης κατά AREA σαν ποσοστό της διάρκειας ζωής σιδηροτροχιάς ευθυγραμμίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η φθορά λόγω εκδορών υφίσταται ακόμη και εκεί όπου υπερισχύουν βαγόνια υψηλής χωρητικότητας και ενιαίοι συρμοί.

Η κλίση επηρεάζει επίσης την διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς. Υπερβολική φθορά και εκδορές είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής έντονης τροχοπέδησης. Οι μειωμένες ταχύτητες μπορεί να μειώσουν την φθορά της καμπύλης. Έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες να τεκμηριωθεί η απώλεια της διάρκειας ζωής στην κλίση της γραμμής σε σχέση με την αντίστοιχη στην οριζόντια γραμμή. Αποτελέσματα από δύο τέτοιες προσπάθειες δίνονται στον πίνακα 5-3.

Μια μελέτη της AREA σε 20 αμερικανικούς σιδηρόδρομους αποκάλυψε ότι η κατακόρυφη φθορά λόγω απόξεσης πάνω σε σιδηροτροχιά που αφαιρέθηκε από την κύρια γραμμή ποικίλλει αντιστρόφως ανάλογα με την πυκνότητα της κυκλοφορίας και έχει έναν μέσο όρο φθοράς 0.03 ίντσες [3].

Ο μεγαλύτερος βαθμός φθοράς πάνω σε γραμμές χαμηλής πυκνότητας μπορεί να εκφράζει λιγότερη κατεργασία σκλήρυνσης, μεγαλύτερη διάβρωση της επιφάνειας (από το λιγότερο συχνό πέρασμα τροχών), και ένα χαμηλότερο

επίπεδο συντήρησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2. διάρκεια ζωής σιδ/χιάς καμπύλης
ως ποσοστό της διάρκειας ζωής της ευθυγραμμίας.

Βαθμός Καμπύλης	Ως Ποσοστό Ευθυγραμμίας	
	Χωρίς Λιπαντήρες	Με Λιπαντήρες
0.0-0.5	1.00	1.00
0.5-1.5	0.87	1.00
1.5-2.5	0.74	0.88
2.5-3.5	0.61	0.79
3.5-4.5	0.49	0.70
4.5-5.5	0.38	0.62
5.5-6.5	0.30	0.55
6.5-7.5	0.22	0.48
7.5-8.5	0.16	0.44
8.5-9.5	0.12	0.40
9.5 και πάνω	0.10	0.37

(Πηγή: *Proceedings of the AREA Vol. 70, G.M.Magee*).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3. διάρκεια ζωής της σιδ/χιάς σε επικλινή
γραμμή σαν ποσοστό της διάρκειας ζωής σε επίπεδη επιφάνεια.

Κλίση (%)	Πανεπιστήμιο του Ιλλινόις	Σιδηρόδρομος Νοτίου Ειρηνικού
0.0-0.5	1.0	1.0000
0.5-1.0	1.0	0.9655
1.0-1.5	0.9	0.9029
1.5-2.0	0.8	0.8010
2.0-2.5	0.7	0.7326
2.5 και πάνω	0.7	0.6820

(Πηγή: *Procedures for Analyzing the Economic Costs of Railroad Roadway for Procing Purposes, Vol. 1, J.H.Williams, October 1975*).

Οι Zarembski και Abbott συμπέραναν ότι η «μη γραμμική ζημιά στην κεφαλή μπορεί να προσεγγιστεί για μια σταθερή ετήσια χωρητικότητα με τη χρήση μιας ζημιάς των 0.028 ιντσών πάχους κεφαλής για 136 λιβρών σιδηροτροχιά RE και των 0.034 ιντσών για την αντίστοιχη των 119 λιβρών ανά 100 εκ. αγγλ.τον. (για ευθυγραμμία) [5].

Το όριο της φθοράς σε μια σιδηροτροχιά λαμβάνεται ως το 25% της έκτασης της κεφαλής. Αυτό το ποσοστό της φθοράς μπορεί να παραχθεί από 300-600 εκατομμύρια τόνους κυκλοφορίας, αλλά η σιδηροτροχιά αφαιρείται πολύ πιο πριν. Η ακατάλληλη συντήρηση μπορεί, από μια λανθασμένη λογική οικονομίας, να καταστρέψει τα ωφέλιμα αποτελέσματα της στρώσης καινούριας

σιδηροτροχιάς. Η ανεπαρκής συντήρηση προκαλεί κύρτωμα στη σιδηροτροχιά, και φθαρμένα άκρα και συναρμογές.

5.2.2. Υπολογισμός της Διάρκειας Ζωής της Σιδηροτροχιάς.

Μια κατά προσέγγιση τιμή για την διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς ευθυγραμμίας βασιζόμενη στη φθορά δίνει η εξίσωση [6]:

$$L = K \times W \times D^{0.565} \quad (5.1)$$

όπου L = διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς σε εκατομμύρια τόνους μάζας

W = βάρος της σιδ/χιάς σε λίβρες ανά γιάρδα

D = πυκνότητα της κυκλοφορίας σε εκατομμύρια τόνους μάζας ανά έτος

K = συντελεστής «επιπέδου συντήρησης»

Οι γνωστές τιμές είναι για το W και L , το K πρέπει να προσδιοριστεί. Εάν είναι γνωστή η διάρκεια ζωής μιας σιδηροτροχιάς κάτω από παρόμοιες συνθήκες, η τιμή της μπορεί να αντικατασταθεί στο L , και τότε υπολογίζεται το K . Ένα επίπεδο συντήρησης συνίσταται από τον καθορισμό της ποσότητας της κατακόρυφης φθοράς της κεφαλής που επιτρέπεται πριν την αφαίρεση της σιδηροτροχιάς από τη γραμμή. Αυτή η φθορά διαιρούμενη με τον μέσο ρυθμό των 0.03 ιντσών ανά 100 εκατομμύρια τόνους μάζας θα δώσει μια τιμή για το L . Έπειτα υπολογίζεται το K . Οι προτεινόμενες τιμές για το K στις παλαιότερες παραπομπές TOPS περιλαμβάνουν την τιμή 0.9538 για καινούρια, με συναρμογές, ομαλή, ελεγχόμενης -ψύξεως σιδηροτροχιά που ζυγίζει μεταξύ 111 και 123 λίβρες / γιάρδα, και την τιμή 0.9810 για βαρύτερες σιδηροτροχιές. Οι αντίστοιχες τιμές για τις Σ. Σ. Σ. ήταν 1.3544 και 1.3930 και, για την σιδηροτροχιά με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, 1.4210 και 1.4616. Η AREA προτείνει μια τιμή για το K των 0.545 όταν δεν είναι διαθέσιμη κάποια άλλη τιμή.

Για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς πάνω σε ένα τμήμα της γραμμής που περιέχει καμπύλες διαφορετικών μοιρών, υπολογίζεται ένα ρυθμισμένο μίλι τροχιάς για όλο το τμήμα με την χρήση κατάλληλα ρυθμισμένης τιμής του K για κάθε τμήμα διαφορετικής καμπυλότητας.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ : Υποθέτουμε τη χρήση μιας σιδηροτροχιάς 132 λιβρών για μια γραμμή διακλάδωσης μεγάλης απόδοσης που είναι σχεδιασμένη να διακινεί 30 εκατομμύρια τόνους μάζας ετησίως. Επίσης υποθέτουμε ότι η σιδηροτροχιά θα αφαιρεθεί από την γραμμή όταν παρουσιαστεί φθορά κεφαλής 0.25 ιντσών. Χρησιμοποιώντας τον μέσο ρυθμό φθοράς 0.03 in./mgt. προκύπτει $0.25/0.03 = 833$ in./mgt. διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση της διάρκειας ζωής κατά AREA:

$$833 = K \times 132 \times 30^{0.565}$$

$$K = 0.92$$

Το έδαφος του προβλήματος, εκτάσεως 52 μιλίων, υποτίθεται ότι έχει 34 μίλια ευθυγραμμία, 8 μίλια με καμπύλες 2 μοιρών, 10 μίλια με καμπύλες 4 μοιρών, και 0.5 μίλια με καμπύλες 6 μοιρών. Οι καμπύλες των 4 και 6 μοιρών θα προστατεύονται από λιπαντήρες καμπύλης. Για διαφορετικής κλίσης καμπύλη ένας κατάλληλα ρυθμισμένος συντελεστής K εξασφαλίζεται με τον πολλαπλασιασμό του K της ευθυγραμμίας με τον συντελεστή φθοράς καμπύλης από τον πίνακα 5-1 τον ανάλογο για την κάθε καμπύλη. Τα «διορθωμένα» μίλια γραμμής βρίσκονται πολλαπλασιάζοντας τα ρυθμισμένα K με τον αριθμό των μιλίων της κάθε καμπύλης διαφορετικών μοιρών.

Ευθυγραμμία	34	X	0.92	X	1.00	= 31.28 «διορθωμένα» μίλια
Καμπύλες 2 μοιρών	8	X	0.92	X	0.74	= 5.45 »
» 4 »	10	X	0.92	X	0.74	= 6.44 »
» 6 »	0.5	X	0.92	X	0.55	= 0.25 »
ολικά διορθωμένα μίλια						= 43.42

Ο μέσος όρος της διορθωμένης τιμής του K είναι $K = 43.42/52.5 = 0.83$. Η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς των 132 λιβρών στη γραμμή θα είναι:

$$L = 0.83 \times 132 \times 30^{0.565} = 748.6 \text{ mgt.}$$

Η μέση διάρκεια σε έτη της σιδηροτροχιάς θα είναι $748.6/30 = 24.95$ έτη. Η διάρκεια της σιδηροτροχιάς στην ευθυγραμμία θα είναι κατά μέσο όρο $833/30 = 27.77$ έτη.

5.2.3. Άλλες Διαδικασίες Υπολογισμού της Διάρκειας Ζωής της Σιδηροτροχιάς.

Το επίπεδο της συντήρησης στο προηγούμενο παράδειγμα βασίζεται μόνο στην κατακόρυφη φθορά της κεφαλής και μπορεί να μην είναι επαρκές για σιδηροτροχιά φθαρμένης καμπύλης, όπου αξιόλογη εγκάρσια διατομή μπορεί να χαθεί. Μελέτες έχουν γίνει βασιζόμενες στην απώλεια της εγκάρσιας διατομής [7].

Μια εξίσωση για την διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς από την άποψη της έκτασης της φθοράς πάνω στην ευθυγραμμία για 115 και 132 λιβρών διατομές έχει τη μορφή:

$$W_a = A (1 + K'D) \times 100 \text{ mgt.} \quad (5.2)$$

ή

$$100\text{mgt} = Wa / A(1 + K'D) \quad (5.3)$$

όπου Wa = φθορά της κεφαλής σε τετραγωνικές ίντσες

A = φθορά της ευθυγραμμίας σε τετρ. ίν. ανά 100mgt, 0.056 για την σιδηροτροχιά 115 λιβρών, 0.058 για την 132 λιβρών

D = μοίρες της καμπύλης

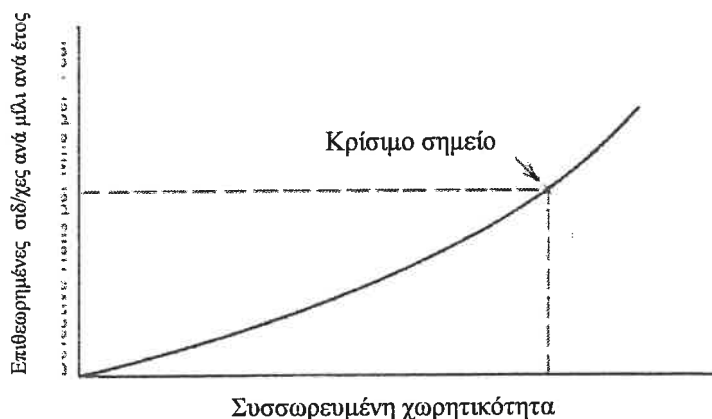
K' = συντελεστής φθοράς της καμπύλης. Ποικίλλει από 0.20 στην ευθυγραμμία έως 1.00 για καμπύλες 5 μοιρών και πάνω για υψηλή σιδ/χιά 115 λιβρών, 0.10 σε ευθυγραμμία έως 1.00 για καμπύλες 8 μοιρών και πάνω για χαμηλή σιδ/χιά 115 λιβρών. Οι αντίστοιχες τιμές για σιδ/χιά 132 λιβρών είναι 0.46 στην ευθυγραμμία έως 1.00 για τις καμπύλες 8 μοιρών και πάνω για την υψηλή σιδ/χιά, 0.11-0.60 για την χαμηλή σιδ/χιά.

Με την παραδοχή της μέγιστης επιτρεπόμενης φθοράς σε τετρ. ίντσες ως ένα ποσοστό της ολικής έκτασης της κεφαλής και για μια δεδομένη τιμή καμπυλότητας, υπολογίζεται η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς σε 100 εκατομμύρια τόνους μάζας. Για παράδειγμα, εάν η επιτρεπόμενη φθορά κεφαλής στην υψηλή πλευρά μιας 132 λιβρών σιδηροτροχιάς καμπύλης είναι 10%, η επιτρεπόμενη φθορά σε τετρ. ίν. είναι 0.442. Σε μια καμπύλη 4 μοιρών, με παρεμβολή, $K' = 0.62$ και η διάρκεια ζωής εκφρασμένη σε mgt. είναι $100Wa/A(1+K'D) = 100 \times 0.442/0.058(1+0.62 \times 4)$, ή 219 mgt. σε τετρ. ίν.

5.2.4. Παράγοντες Καταπονήσεως της Σιδηροτροχιάς.

Η διάρκεια ζωής της σιδηροτροχιάς μπορεί να ελαττωθεί από μια απaráδεκτα μεγάλη επίδραση των αστοχιών της σιδηροτροχιάς, ειδικά από εκείνες που σχετίζονται με κόπωση. Όπως σημειώθηκε και προηγουμένως οι αστοχίες λόγω κοπώσεως λαμβάνουν τεράστιες διαστάσεις εκεί όπου η καινούρια σιδηροτροχιά είναι εκτεθειμένη σε φορτίσεις από μεγάλης χωρητικότητας βαγόνια και ενιαίους συρμούς. Οι καμπτικές και θερμικές τάσεις συνδυάζονται με τάσεις επαφής και διάτμησης για να αναπτύξουν ρωγμές λόγω κόπωσης στα σημεία που εφαρμόζονται επαναλαμβανόμενα ισχυρά φορτία. Ο αριθμός τέτοιων αστοχιών είναι πιθανό να αυξηθεί υπό τους όρους συσσωρευμένων περιόδων εφαρμογής φορτίου και τις συνοδευόμενες ανατροπές τάσης, ως εκ τούτου υπό τους όρους συσσωρευμένης χωρητικότητας. Μια αποτύπωση των επιδράσεων της κόπωσης σε συνάρτηση με την συσσωρευμένη χωρητικότητα εκφρασμένη σε εκατομμύρια τόνους μάζας θα αποκάλυπτε ότι οι αστοχίες λόγω κοπώσεως συμβαίνουν με έναν αυξανόμενο ρυθμό (σχήμα 5.5). Όταν ο ρυθμός της αστοχίας γίνει επικίνδυνος, σε ένα σημείο A , η σιδηροτροχιά αφαιρείται από την γραμμή. Το κρίσιμο σημείο εξαρτάται από τις θεωρήσεις οικονομίας και ασφάλειας, και από το στάδιο στην κλιμακούμενη περίοδο ανανέωσης σιδηροτροχιάς. Κάθε σιδηρόδρομος πρέπει να θέτει το δικό του κρίσιμο σημείο, διότι οι τοπικές συνθήκες ποικίλλουν

ευρέως και η έρευνα δεν έχει ακόμη καθιερώσει κατάλληλα για όλες τις περιπτώσεις κριτήρια.: 1.25 ελαττωματικές σιδηροτροχιές ανά μίλι ανά έτος χρησιμοποιείται από μερικούς σιδηροδρόμους.



Σχήμα 5.5.

(Πηγή: A. M. Zarembski and R. A. Abbott, "Fatigue Analysis of Rail Subject to Traffic and Temperature Loading", AAR Report, September 1978).

5.3. Εγκατάσταση της Σιδηροτροχιάς.

Οι διαδικασίες για το στρώσιμο και την ανανέωση της σιδηροτροχιάς ποικίλλουν, εξαρτάται από το αν πρόκειται για καινούρια σιδηροδρομική γραμμή ή την ανανέωση παλιάς και από το αν η σιδηροτροχιά είναι με συναρμογές ή συνεχώς συγκολλημένη. Οι επόμενες παράγραφοι αναφέρονται στο στρώσιμο σιδηροτροχιάς με συναρμογές.

5.3.1. Καινούρια Γραμμή.

Η σιδηροδρομική γραμμή τοποθετείται απευθείας πάνω στο τελείωμα της υποδομής. Οι στρωτήρες τοποθετούνται στην κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση και ευθυγραμμίζονται, και οι σιδηροτροχιές καρφώνονται στους στρωτήρες. Το έρμα τότε αποφορτίζεται και η γραμμή ανυψώνεται και επιστρώνεται σε πασσάλους. Για την αποφυγή του σχηματισμού συμπίεσεων στην επιφάνεια της υποδομής καμία φόρτιση δεν πρέπει να εφαρμόζεται πάνω στη γραμμή πριν να έχουν τοποθετηθεί 4-6 ίντσες έρματος κάτω από τους στρωτήρες. Το έρμα μπορεί να απλωθεί προκαταβολικά από φορτηγό βαγόνι.

Όπου το πλάτος της επιδομής ή η μορφολογία του παρακείμενου εδάφους το επιτρέπει, οι σιδηροτροχιές και οι στρωτήρες διανέμονται από πριν ή ως συνήθως από επίπεδα ρυμουλκούμενα τροχοφόρα. Τα μηχανήματα στρώσεως της γραμμής έχουν εξελιχθεί ώστε να φέρουν τις σιδηροτροχιές και τους στρωτήρες εμπρός πάνω σε μεταφορικούς ιμάντες που υποστηρίζονται από μια επιμήκη δοκίδα συνδέσεως πριν από τα βαγόνια σιδηροτροχιάς και στρωτήρα.

5.3.2. Προετοιμασία.

Η καθαυτή τοποθέτηση διαρκεί σχετικά λίγο χρόνο, αλλά πρέπει να προηγηθεί αρκετός προγραμματισμός και προετοιμασία.

α. Προετοιμασία Γραφείου

Διεξοδικά προσχέδια από προσεκτικές επιτόπιες αποτυπώσεις υποδεικνύουν τα όρια της τοποθέτησης, τις υπάρχουσες θέσεις αλλαγών, τα σημεία αλλαγών, τις διασταυρώσεις, τους μονωτικούς αρμούς, και άλλες ειδικές θέσεις της γραμμής.

β. Προετοιμασία της Σιδηροδρομικής Γραμμής

Η πρακτική εφαρμογή διαφέρει ως προς την ποσότητα της προπαρασκευαστικής εργασίας που θα πρέπει να έχει γίνει στην γραμμή πριν την τοποθέτηση. Η AREA συστήνει ότι η γραμμή θα πρέπει να είναι σωστά ευθυγραμμισμένη και να έχει καλή επιφάνεια και ότι θα πρέπει οι καμπύλες να επενδυθούν καλά πριν από την τοποθέτηση της καινούριας σιδηροτροχιάς. Η τοποθέτηση τότε συνεχίζεται με εργασίες ανανέωσης των στρωτήρων και σταθεροποίησης της υποδομής, ώστε να είναι η γραμμή σε καλή κατάσταση και να μην χρειαστεί να επέμβουμε σύντομα. Εντούτοις αρκετοί πιστεύουν ότι αυτές οι διαδικασίες θα πρέπει να γίνονται ένα χρόνο πριν την τοποθέτηση. Κάποια διάρθρωση της επίστρωσης είναι υποχρεωτική πάνω στην καινούρια σιδηροτροχιά ανεξαρτήτως του προγράμματος εργασιών που ακολουθήθηκε αμέσως μετά από την στρώση της. Μια συμπληρωματική επίστρωση, επομένως, είναι απαραίτητη για να αποτρέψει την κάμψη της επιφάνειας της σιδηροτροχιάς και την πρόωρη παραμόρφωση των συναρμογών.

γ. Ειδική Εργασία

Εκεί όπου αλλαγές, διασταυρώσεις, ή άλλα ιδιαίτερα στοιχεία βρίσκονται εντός των ορίων της τοποθέτησης, θα πρέπει να ακολουθηθούν ειδικές ενέργειες ώστε να αποφευχθεί η καθυστέρηση και η επιπλέον δαπάνη κατά την τοποθέτηση. Ένα ειδικό συνεργείο τεχνιτών θα πρέπει να χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό χωριστά από το κανονικό συνεργείο της τοποθέτησης σιδηροτροχιάς. Εάν το συνεργείο της τοποθέτησης περιλαμβάνει μερικούς εκπαιδευμένους ειδικούς σε αλλαγές, οι οποίοι μπορούν να συμπληρώσουν τις λεπτομέρειες, λίγος χρόνος χάνεται στις γραμμές αλλαγών. Οι διασταυρώσεις αποτελούν συνήθως μια ξεχωριστή εργασία.

δ. Άλλες Προετοιμασίες

Ως ένδειξη μη φορτισμένου υλικού, οι καινούριες σιδηροτροχιές και οι θέσεις αλλαγών σφραγίζονται και στις δύο σιδηροτροχιές. Μερικοί σιδηρόδρομοι απαιτούν ένα σημάδι ένδειξης της μη φορτισμένης σιδηροτροχιάς να τοποθετείται κάθε 5 ή 10 μήκη σιδηροτροχιάς. Οι πλευρικές σιδηροδρομικές γραμμές πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να στηρίζουν εξοπλισμό από τον συρμό σιδηροτροχιάς. Πρέπει να δημιουργηθεί βοήθημα για την κυκλοφορία, που να περιλαμβάνει συντονισμό με το τμήμα χειρισμού. Ρύθμιση στο πρόγραμμα και το ταχύ πέρας των συρμών μπορεί να αυξήσουν τον

διαθέσιμο χρόνο επί της γραμμής. Σε έδαφος πολλαπλής γραμμής μια γραμμή μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας για ολόκληρη ή μέρος της ημέρας, τρέποντας τους συρμούς στις άλλες γραμμές. Σε μονές – γραμμές κυρίως, επιτελείται εργασία μεταξύ των συρμών και γίνονται διακανονισμοί ώστε να καθαριστεί εξοπλισμός για κυκλοφορία. Σε πολύ μεγάλης κυκλοφορίας γραμμές μπορεί να είναι απαραίτητο να γίνει η εργασία τη νύχτα όταν η κυκλοφορία είναι ελαφριά. Η απασχόληση ενός εξειδικευμένου ατόμου διευκολύνει τον χειρισμό της εργασίας που επιτελείται στο συρμό, και δίνει στο συνεργείο σιδηροτροχιάς το μέγιστο ποσοστό εργάσιμου χρόνου.

5.3.3. Διαδικασία Εγκατάστασης.

Η τοποθέτηση της σιδηροτροχιάς συνήθως επιτελείται από μηχανοποιημένα συνεργεία που αριθμούν 80-150 εργάτες και που χρησιμοποιούν τις πιο πρόσφατες μηχανικές συσκευές. Αυτά τα συνεργεία μπορεί να είναι οργανωμένα σε ένα σύστημα ή σε μία περιφερειακή ή ακόμη και σε μία μεραρχιακή βάση. Οι εργάτες ζουν σε συρμούς- κατασκηνώσεις. Ο εξοπλισμός είναι φορτωμένος σε βαγόνια και ολόκληρη η εξάρτυση μετακινείται πάνω στον σιδηρόδρομο.

Οι κύριες λειτουργίες στην τοποθέτηση της σιδηροτροχιάς περιλαμβάνουν τα εξής:

Διανομή του υλικού. Το υλικό μπορεί να διανεμηθεί μια ημέρα ή περισσότερο πριν ή μόλις πριν από το συνεργείο σιδηροτροχιάς την ημέρα της τοποθέτησης. Ο τελευταίος τρόπος είναι προτιμότερος διότι είναι επικίνδυνο να απλωθεί η πρώτη ύλη πολλές ώρες πριν από τη χρήση, και υπάρχει επίσης η πιθανότητα της απώλειάς της.

Απομάκρυνση της Παλιάς Σιδηροτροχιάς. Οι αγκυρώσεις της σιδηροτροχιάς πρέπει να αφαιρεθούν, οι ράβδοι συναρμογής να ξεβιδωθούν και να αφαιρεθούν, οι ήλοι να τραβηχτούν, και η παλιά σιδηροτροχιά να αποκλειστεί μέσα ή έξω από τη γραμμή. Είναι προτιμότερο να απομακρυνθεί από την γραμμή, παρόλα αυτά σε μερικές περιπτώσεις αποκλείεται στο κέντρο της γραμμής για να μεταφερθεί εκτός από τον γερανό επίστρωσης της σιδηροτροχιάς. Η γραμμή στρώνεται προς μια διεύθυνση κάθε φορά. Συνήθως μια σειρά σιδηροτροχιάς στρώνεται το πρωί και η άλλη το απόγευμα. Περιστασιακά μια πλευρά διεκπεραιώνεται όλη μέρα και η άλλη στρώνεται την επομένη.

Προετοιμασία της Γραμμής. Οι στρωτήρες απομακρύνονται από τα ελάσματα, ταπώνονται και η νέα επιφάνεια που αποκαλύπτεται σφουγγίζεται με ένα πισσέλαιο. Τα ελάσματα συνδέσεως τοποθετούνται πάνω στους στρωτήρες σε κατάλληλο εύρος και ευθυγράμμιση.

Τοποθέτηση της Σιδηροτροχιάς. Η καινούρια σιδηροτροχιά τοποθετείται στη θέση της από έναν μικρό γερανό ελαφρύ αρκετά ώστε να μετακινείται πάνω από την ξεκάρφωτη σιδηροτροχιά που έχει μόλις τοποθετηθεί. Η παλιά

σιδηροτροχιά που έχει απομείνει στη γραμμή αφαιρείται.

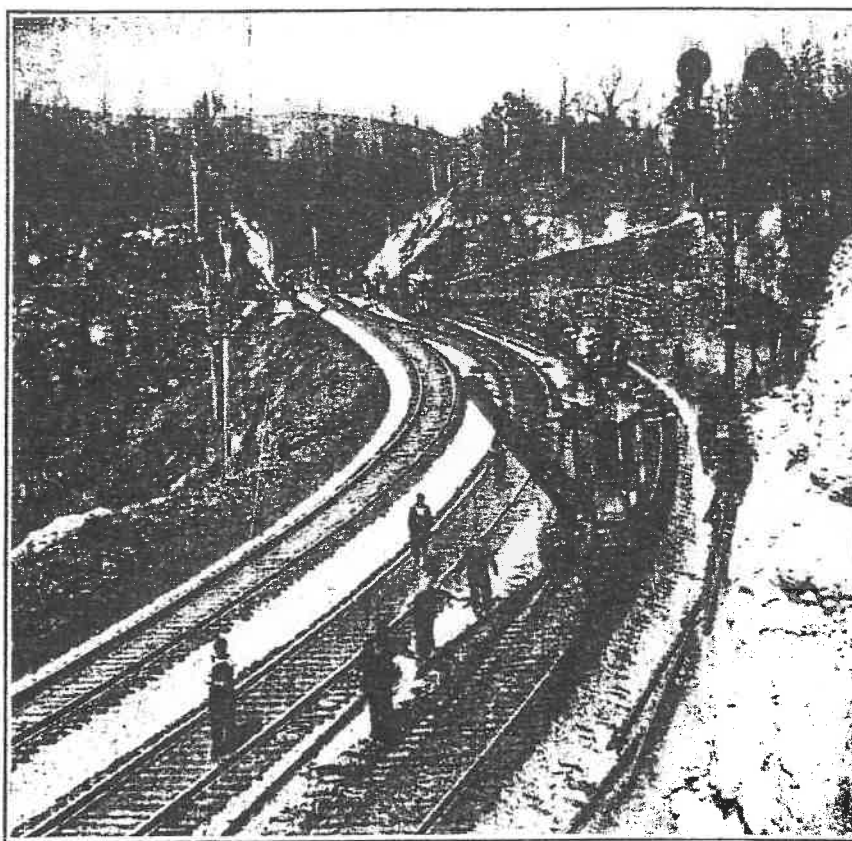
Στερέωση της Καινούριας Σιδηροτροχιάς. Εφαρμόζονται οι ράβδοι συναρμογής, βιδώνονται οι ήλοι και τοποθετούνται οι αγκιστρώσεις της σιδηροτροχιάς και τα συγκολλημένα καλώδια σηματοδοσίας.

Συνεργείο Παρατήρησης. Ένα μικρό συνεργείο από 6-12 εργάτες στο οποίο μπορεί να έχει ανατεθεί το καθήκον του διαμελισμού της σιδηροτροχιάς, της επιτέλεσης των εργασιών στις εγκαταστάσεις αλλαγών, και η κατασκευή διαδρομών για προσωρινούς τερματισμούς μεταξύ των συρμών ή στο τέλος της ημερήσιας λειτουργίας. Όταν δεν απασχολείται αλλιώς, το συνεργείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να στουπώσει παλιές θέσεις συναρμογών πίσω από την ανατοποθέτηση.

Καθαρισμός από Παλιά Υλικά. Η παλιά σιδηροτροχιά και άλλα παλιά υλικά της γραμμής πρέπει να συλλέγονται και ο σιδηρόδρομος να μένει καθαρός και απαλλαγμένος από εμφράξεις. Μερικοί σιδηρόδρομοι έχουν το συρμό που καθαρίζει να ακολουθεί αμέσως πίσω από την ανατοποθέτηση έτσι ώστε η εργασία να ολοκληρώνεται στο τέλος της ημέρας. Χωρίς αμφιβολία αυτό αποτελεί την καλύτερη τακτική όταν επαρκείς συρμοί, εξοπλισμός και εργάτες είναι διαθέσιμοι και μπορεί να περατωθεί χωρίς υπερβολικές υπερωρίες.

Πρόνοιες Ασφαλείας. Επιπρόσθετα με την πλήρη κατανόηση όλων εκείνων που αφορούν πριν την έναρξη των εργασιών του συνεργείου σιδηροτροχιάς, μεγάλη φροντίδα πρέπει να παρθεί ώστε να εξασφαλιστεί μια επαρκής προστασία και για την κυκλοφορία και για το συνεργείο κατά τη διάρκεια της εργασίας του. Σήματα περιορισμού της ταχύτητας τοποθετούνται σε καθορισμένες αποστάσεις πέρα από τα όρια της ανατοποθέτησης, και έξυπνοι, καλά καταρτισμένοι σηματοροί τοποθετούνται σε κάθε άκρο της ανατοποθέτησης. Επιπλέον η άδεια για να ανοιχθεί η γραμμή θα πρέπει να βεβαιώνεται καθημερινά από τον διευθυντή κινήσεως. Εντολές για προσοχή θα πρέπει να δίνονται σε όλους τους συρμούς που προσεγγίζουν ή περνούν από εκεί όπου επιτελείται η εργασία σε οποιαδήποτε γραμμή. Επιθυμητοί είναι επίσης φύλακες οι οποίοι θα προειδοποιούν τους εργάτες για την προσέγγιση ενός συρμού σε άλλη γραμμή.

Όταν η εργασία επιτελείται ανάμεσα στους συρμούς, η σιδηροτροχιά θα πρέπει, εάν είναι δυνατόν, να στρώνεται έναντι του ρεύματος της κυκλοφορίας. Αυτό λόγω του ότι εξασφαλίζεται πρόσθετη ασφάλεια όταν οι εργάτες είναι αντιμέτωποι της κυκλοφορίας. Επίσης, η πιθανότητα να φορτιστεί υπερβολικά η μη-στερεωμένη καινούρια σιδηροτροχιά μειώνεται.



Εικόνα 5-1. μηχανοποιημένο συνεργείο τοποθέτησης σιδ/χιάς με συναρμογές εν ώρα εργασίας.

(Πηγή: Kerr, Arnold D., "Railroad Track Mechanics and Technology", Proceedings of the 1975 Symposium at Princeton University, Pergamon Press, 1975).

Διαστολή. Για την εξασφάλιση από διαστολή λόγω θερμικών μεταβολών, σφήνες από χάλυβα, ξύλο, ή από συνθετικές ύλες παρεμβάλλονται ανάμεσα σε κάθε σιδηροτροχιά σύμφωνα με τον προτεινόμενο κατά AREA πίνακα μεγεθών των σφηνών (πίνακας 5-4). αυτά τα μεγέθη στηρίζονται σε μια κατά μέσο όρο μεταβολή των 0.0000065 μονάδων ανά βαθμό Fahrenheit. Οι θερμοκρασίες της σιδηροτροχιάς λαμβάνονται από ειδικά σχεδιασμένα θερμόμετρα σιδηροτροχιάς.

Οι μεταλλικές σφήνες θα πρέπει να αφαιρούνται κάθε 12 σιδηροτροχιές. Οι υπόλοιποι τύποι μπορούν να παραμένουν στη γραμμή.

Το συνεργείο της σιδηροτροχιάς πρέπει να είναι τέλεια οργανωμένο και υπό αυστηρή επίβλεψη. Με σκοπό να εξασφαλιστεί η υπέρτατη αποδοτικότητα από τα πολλά ακριβά μηχανήματα και τους εργάτες δεν πρέπει να υπάρχει καμία καθυστέρηση σε οποιοδήποτε μέρος της επιχείρησης. Κάθε εργάτης πρέπει να εκπαιδευτεί στην δουλειά του, και το συνεργείο πρέπει να φτάσει στη γραμμή με μια προκαθορισμένη σειρά σαν έναν λόχο από καλά εκπαιδευμένους στρατιώτες. Τα μηχανήματα, συν την επιμελή οργάνωση, κάνουν πιθανό το χαμηλό κόστος της μαζικής παραγωγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4. Σφηνές για το στρώσιμο σιδηροτροχιάς.

Θερμοκρασία Σιδηροτροχιάς (°F)	Μέγεθος Σφηνών (ίντσες)
Κάτω από 6	5/16
6-25	1/4
26-45	3/16
46-65	1/8
66-85	1/16
Πάνω από 85	καθόλου

(Πηγή: *Manual for Railway Engineering, AREA, 1980-1981*)

5.4. Συντήρηση της Σιδηροτροχιάς.

Η μεγάλη επένδυση χρημάτων στη σιδηροτροχιά απαιτεί τη χρήση όλων των πρακτικών μέσων που θα διασφαλίσουν τη μεγάλη της διάρκεια στη γραμμή. Η σωστή συντήρηση της γραμμής αποτελεί κατά ένα μεγάλο μέρος απόρροια μιας σωστής συντήρησης της σιδηροτροχιάς. Η γραμμή να πρέπει να έχει μια σταθερή υποδομή και έρεισμα έρματος και να διατηρείται σε σωστή παράταξη, εύρος, και επιφάνεια. Κάποιες εργασίες συντήρησης εφαρμόζονται κατευθείαν πάνω στη σιδηροτροχιά.

5.4.1. Παραμόρφωση του Άκρου της Σιδηροτροχιάς.

Όταν οι σιδηροτροχιές παραμορφώνονται, μπορεί να εξασφαλιστεί αποκατάσταση με την ανακατασκευή των άκρων της σιδηροτροχιάς στη γραμμή, χρησιμοποιώντας ένα δαυλό αερίου ή μια συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης, και λειαίνοντας την συγκολλημένη έκταση σε κατάλληλο περίγραμμα μετά τη συγκόλληση. Η ροή του μετάλλου στα άκρα της σιδηροτροχιάς έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ‘χηλοειδών’ τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν μέσω τροχίσματος ώστε να αποφευχθεί το κοπίδιασμα των άκρων της σιδηροτροχιάς. Η χάραξη εγκοπής ή το εγκάρσιο τρόχισμα των άκρων της σιδηροτροχιάς σε βάθος 1/8 ίντσας ή περισσότερο, χρησιμοποιώντας ένα 1/8 ίντσας παχύ τροχό ακονίσματος, μπορεί να γίνει είτε επιτόπου ή κατά τη διάρκεια κατεργασίας της σιδηροτροχιάς έτσι ώστε να καθυστερήσει τη δράση του χηλοειδούς.

5.4.2. Συντήρηση της Συναρμογής.

Φθορά αναμένεται στα διαστήματα ενώσεως όπου η συναρμογή υποστηρίζεται και εδράζεται και αυτό ενισχύει την αναγκαιότητα για ανανέωση της σιδηροτροχιάς. Μία λύση αποτελεί η εφαρμογή ράβδων οι οποίες έχουν μετασχηματιστεί με μια παχύτερη διατομή στο σημείο της μέγιστης φθοράς (1

½ - 3 ίντσες από το άκρο της κάθε συναρμογής) για να αναλάβει τα φθαρμένα διαστήματα. Εφόσον δεν είναι εφικτό δύο άκρα σιδηροτροχιάς να φθαρούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, οι μετασχηματισμένες ράβδοι μπορεί να οδηγήσουν σε φαινόμενο τραχείας- προσπελάσεως γραμμής. Η βαφή της σιδηροτροχιάς πίσω από τις ράβδους συναρμογής με ένα λιπαντικό μίγμα μειώνει την διάβρωση και το 'πάγωμα' των συναρμογών. Το χαλάρωμα των βιδών το καλοκαίρι και το σφίξιμό τους το χειμώνα είναι ενέργειες που πραγματοποιούνται σε περιοχές όπου εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις της θερμοκρασίας.

5.4.3.Καμένη και Αυλακωμένη, από τους Τροχούς των Συρμών, Σιδηροτροχιά.

Η σιδηροτροχιά η οποία έχει υποστεί κάψιμο από την ολίσθηση των τροχών του κινητήρα προσφέρει γραμμή τραχείας προσπέλασης και μπορεί να αποτελέσει μια δυνατή αιτία για μια προοδευτική θραύση. Η συγκόλληση και η λείανση των καμένων περιοχών βοηθούν στη μείωση αυτών των κινδύνων.

5.4.4.Διάβρωση.

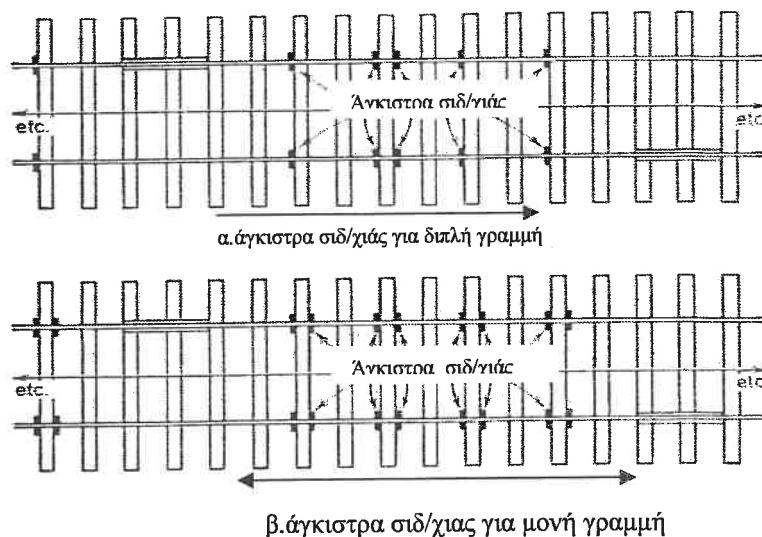
Η διάβρωση η οποία προέρχεται από την στάλαξη αλατόνερου από τα βαγόνια-ψυγεία, που λειτουργούν με πάγο, έχει μειωθεί κατά πολύ με την εισαγωγή μηχανικού εξοπλισμού ψυγείων. Στις σήραγγες η υγρασία συνδυάζεται με τις χημικές ενώσεις θείου των καυσαερίων των εξατμίσεων της μηχανής του τρένου, και διαβρώνουν τη σιδηροτροχιά και τις στηρίξεις. Οι σιδηροτροχιές που είναι εκτεθειμένες σε αλατούχο αέρα ή σε χημικά καυσαέρια σε βιομηχανικές περιοχές μπορούν επίσης να διαβρωθούν. Η Σ. Σ. Σ. μειώνει ή και εξαλείφει το φαινόμενο της διάβρωσης στις ιδιαίτερα ευπρόσβλητες περιοχές των συναρμογών. Εκεί όπου η διάβρωση αποτελεί πρόβλημα, οι σιδηροτροχιές και οι στηρίξεις ψεκάζονται με ένα ασφαλτούχο έλαιο ώστε να σχηματιστεί ένα ανθεκτικό, προστατευτικό κάλυμμα πάνω από τον κορμό, τη βάση, και το συγκρότημα της συναρμογής.

5.4.5.Αγκύρωση της Σιδηροτροχιάς.

Ένα ενδιαφέρον και παράλληλα ενοχλητικό φαινόμενο αποτελεί η διαμήκης διαφυγή ή ερπυσμός των σιδηροτροχιών. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, ο ερπυσμός εμφανίζεται στην επικρατέστερη κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Τοπικές συνθήκες, όπως απότομες κλίσεις ή σημεία όπου οι συρμοί εφαρμόζουν συχνά τα φρένα, ταχύτητα και είδος έρματος, μπορεί να αυξάνουν ή να μειώνουν το ποσό και την διεύθυνση του ερπυσμού. Οι αιτίες του ερπυσμού δεν είναι τελείως γνωστές. Η διαστολή και συστολή της σιδηροτροχιάς λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών αποτελούν παράγοντες συνεισφοράς.

Μια σειρά από συσκευές αγκυρώσεως έχει αναπτυχθεί, σχεδόν όλες από τις

οποίες βασίζονται στην ασφάλιση του άγκιστρου στη βάση της σιδηροτροχιάς μέσω τριβής και στην αγκίστρωση του συνόλου μέσω τριβής ανάμεσα στο άγκιστρο και στον στρωτήρα. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και όταν αντί των ήλων χρησιμοποιούνται ελαττηριώδεις λαβές ή κρίκοι για να συγκρατήσουν τη σιδηροτροχιά στο έλασμα συνδέσεως.



σχήμα 5.6. τοποθέτηση των άγκιστρων σιδ/χιάς. (α) άγκιστρα για διπλή γραμμή, (β) άγκιστρα για μονή γραμμή.
(Πηγή: *Proceedings of the AREA*).

Ο κατάλληλος αριθμός των άγκιστρων που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αποτελεί για καιρό ζήτημα διένεξης. Αποτελέσματα από εγκαταστάσεις δοκιμών που έγιναν υπό την επίβλεψη της AREA οδήγησαν στη σύσταση ότι ένα ελάχιστο 8 άγκιστρων που τοποθετούνται ομοιόμορφα ανά 39 ft σιδηροτροχιά χρησιμοποιούνται για κυκλοφορία μιας κατεύθυνσης. Για κυκλοφορία δύο κατευθύνσεων, συστήνονται 16 ανά 39ft σιδηροτροχιά, 8 σε κάθε κατεύθυνση. Εάν η κυκλοφορία είναι ελαφρύτερη στη μια κατεύθυνση ο αριθμός των άγκιστρων που την προστατεύουν μπορεί να μειωθεί. Το σχήμα 5.6 δείχνει τις συστάσεις της AREA για μέσες καταστάσεις.

5.4.6.Λιπαντήρες Καμπύλης.

Για να μειωθεί ο ρυθμός εκδοράς των φλαντζών των τροχών και σε σιδηροτροχιές με καμπύλες μεγάλης κλίσης, εγκαθίστανται συχνά λιπαντήρες οι οποίοι εφαρμόζουν ένα λιπαντικό με γραφίτη στις φλάντζες των τροχών των βαγονιών, οι οποίοι έπειτα το μεταφέρουν κατά μήκος της πλευράς κυλίσεως μιας ή περισσότερων καμπύλων. Ένα μικρό εμπορευματοκιβώτιο με λιπαντικό τοποθετείται πλευρικά της γραμμής. Το πέδιλό του συμπιέζεται από τη φλάντζα του τροχού και ενεργοποιεί μια αντλία η οποία αναγκάζει το λιπαντικό να εξωθηθεί από τα στόμια της ράβδου εφαρμογής κατά μήκος της πλευράς

κυλίσεως της υψηλής σιδηροτροχιάς. Οι λιπαντήρες τοποθετούνται συνήθως στην προσέγγιση μιας σειράς καμπύλων, κυρίως αυτών που είναι από 4 μοίρες και πάνω. Η απόσταση εμβέλειας για αποτελεσματική προστασία εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και μπορεί να είναι 2 ή περισσότερα μίλια. Μια εμπειρική μέθοδος χρησιμοποιεί έναν λιπαντήρα για κάθε 200-250 μοίρες επίκεντρης γωνίας. Τα προβλήματα της συντήρησης περιλαμβάνουν δυσκολίες στην πλήρωση των λιπαντήρων, βούλωμα των γραμμών τροφοδοσίας και των οπών έλασης, σωστή ροή κάτω από ποικίλες συνθήκες θερμοκρασίας και ολίσθηση των τροχών πάνω στις κλίσεις της σιδηροδρομικής γραμμής. Όπως έχει αναφερθεί οι λιπαντήρες φλαντζών μειώνουν τη φθορά καμπύλης στις σιδηροτροχιές, από την άλλη όμως επιτρέπουν τη δημιουργία αποφλοιώσεων. Μείωση στη χρήση των λιπαντήρων προκαλεί υπερβολική φθορά των πελμάτων των ελαστικών και των φλαντζών των τροχών και των κεφαλών της σιδηροτροχιάς. Οι λιπαντήρες καμπύλης μειώνουν επίσης την αντίσταση του συρμού.

6. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΙΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ.

6.1. Γενικά.

Οι ρωγμές που εμφανίζονται στις σιδηροτροχιές και στις συγκολλήσεις κατά τη λειτουργία μπορεί να προκαλέσουν θραύσεις και, ως επακόλουθο, λειτουργικούς κινδύνους. Η λειτουργική ασφάλεια των σιδηροδρομικών δικτύων αυξάνεται με τον περιοδικό μη καταστροφικό έλεγχο των σιδηροτροχιών και τον καθορισμό του μέγιστου επιτρεπόμενου μεγέθους των αστοχιών. Η εφαρμογή των εμπειρικών δεδομένων που αποκτώνται από τη λειτουργία και οι αναλύσεις του μηχανισμού θραύσεως, συμβάλλουν στον προσδιορισμό των οριακών τιμών. Τα αποτελέσματα των ερευνών στις σιδηροτροχιές και στις συγκολλήσεις αποκαλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό ρωγμών διαφόρων σχημάτων και μεγεθών που μπορούν να οδηγήσουν σε θραύση. Ο επικρατέστερος τύπος αστοχίας σιδηροτροχιάς μπορεί να ποικίλει σημαντικά από σιδηρόδρομο σε σιδηρόδρομο και ως εκ τούτου είναι γενικά δύσκολο να γίνουν συγκρίσεις.

Οι αναλύσεις του μηχανισμού θραύσεως έχουν διεξαχθεί σε ρωγμές στις οπές αμφιδετών, σε εγκάρσιες ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς και σε ρωγμές αλουμινοθερμικής συγκόλλησης που αρχίζουν στην επιφάνεια κύλισης ή διαπερνούν την επιφάνεια κύλισης τη στιγμή που ανιχνεύονται. Για τις εγκάρσιες ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς, έχουν χρησιμοποιηθεί πιθανοτικές εκτιμήσεις των οριακών τιμών μέσα στα πλαίσια του προσδιορισμού της περιόδου συντήρησης ή του επιτρεπόμενου απομένοντα κύκλου συντήρησης. Η συμβολή των τάσεων και των ιδιοτήτων των μηχανισμών θραύσεως, καθώς και οι παράγοντες ασφάλειας που αφορούν την ανάπτυξη των θραύσεων και των ρωγμών κόπωσης, έχουν ληφθεί υπόψη.

Η κάθε διεύθυνση που ασχολείται με τον μη καταστροφικό έλεγχο των σιδηροτροχιών στη γραμμή κατηγοριοποιεί τις αστοχίες σιδηροτροχιάς. Είναι προφανές ότι οι πιο επικίνδυνες ρωγμές είναι εκείνες που προσεγγίζουν το κρίσιμο μέγεθός τους. Αν ρωγμές τέτοιου μεγέθους παρουσιάζονται, τότε οι σιδηροτροχιές πρέπει να αποσύρονται ή να προστατεύονται.

Με τη χρήση ως παραδείγματος της πιο κοινής και συχνά εμφανιζόμενης ρωγμής, δίνεται η εξήγηση μίας μεθόδου σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται ένα ασφαλές οριακό μέγεθος ρωγμής χωρίς εκτεταμένα περιθώρια.

6.2. Ορισμοί και Σύμβολα του Μηχανισμού Θραύσης.

Μέγεθος ρωγμής

-Γενικός όρος για το βάθος και το μήκος ή το εμβαδόν της ρωγμής.

Σχετικό μέγεθος ρωγμής

-Το μέγεθος της ρωγμής δίνεται σε σχέση με το σχετικό μέγεθος της ρωγμής a_{rel}
 $= a/a_0$.

Σταθερή ανάπτυξη ρωγμής

-Ομαλή και συνεχής αύξηση του μεγέθους της ρωγμής, που οφείλεται κυρίως σε κυκλικές και δυναμικές τάσεις και εξαρτάται από τον κύκλο ζωής των σιδηροτροχιών στη γραμμή και του όγκου της κυκλοφορίας.

Μη σταθερή ανάπτυξη ρωγμής

-Απότομη και πολύ ραγδαία αύξηση του μεγέθους της ρωγμής που οδηγεί απευθείας σε θραύση.

Κρίσιμο μέγεθος ρωγμής

-Το μέγεθος της ρωγμής, στο οποίο η σταθερής ανάπτυξης ρωγμή κόπωσης μεταβάλλεται σε μη σταθερής ανάπτυξης ρωγμή.

Όριο συντήρησης

-Το μέγεθος της ρωγμής που, για καθορισμένες περιόδους ελέγχου συντήρησης, δεν πρέπει να ξεπερνάται έτσι ώστε να αποφεύγεται η πιθανότητα θραύσης.

Όριο επιθεώρησης

-Το επιτρεπόμενο μέγεθος ρωγμής κατά την περίοδο μη καταστροφικού ελέγχου. Πρέπει να καθορίζεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία συντήρησης και την καθορισμένη περίοδο επιθεώρησης, η οριακή τιμή του μεγέθους της ρωγμής να μην ξεπερνάται μέχρι τη χρονική στιγμή του επόμενου ελέγχου.

ΣΥΜΒΟΛΑ

A-Μέγεθος ρωγμής

a_c -Κρίσιμο μέγεθος ρωγμής

a_{adm} -Επιτρεπόμενο μέγεθος ρωγμής, όριο επιθεώρησης

$a_{adm\ max}$ -Μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος ρωγμής, όριο συντήρησης

a_0 -Αρχικό μέγεθος ρωγμής

L-Μήκος ρωγμής

l_c -Κρίσιμο μήκος ρωγμής

P_a -Πιθανότητα ρυθμού ανάπτυξης ρωγμής

P_v -Διάστημα εμπιστοσύνης

Q-Αθροιστική συχνότητα

S_a -Συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης

S_a -Συντελεστής ασφαλείας για ανάπτυξη ρωγμής

S_F -Εμβαδόν αστοχίας

S_K -Διατομή κεφαλής σιδηροτροχιάς

H_K -Ύψος κεφαλής σιδηροτροχιάς

$\Delta a_{\max}$ -Μέγιστη τιμή αύξησης του μεγέθους της ρωγμής

Η σχέση μεταξύ του ορίου συντήρησης $a_{\text{adm max}}$ και του ορίου επιθεώρησης a_{adm} δίνεται από τη σχέση:

$$a_{\text{adm}} = a_{\text{adm max}} - \Delta a_{\max}$$

όπου $\Delta a_{\max}$ είναι η μέγιστη τιμή αύξησης του μεγέθους της πιθανής ρωγμής.

6.3. Εμπειρικά Δεδομένα Ρωγμών και Θραύσεων σε Σιδηροτροχιές και Κολλήσεις.

6.3.1. Σχήματα και Μεγέθη των Κρίσιμων Ρωγμών.

α) Εσωτερικές ρωγμές κεφαλής σιδηροτροχιάς

Οι νεφροειδής μορφής ή σχεδόν ελλειπτικές εσωτερικές ρωγμές έχουν μέση αξονική αναλογία 1:1,5 [1, 2], με τον οριζόντιο άξονα να είναι πιο μακρύτερος. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν και αναλογίες 1:1 και 1:2.

Κατά μέσο όρο η επιφάνεια της ρωγμής κλίνει σε σχέση με τη διατομή της σιδηροτροχιάς υπό γωνία 18° και σε εξαιρετικές περιπτώσεις υπό γωνία 28° [2]. Το σημείο γένεσης των ρωγμών βρίσκεται 11 mm [2] ως 29 mm [1] μακριά από την επιφάνεια κύλισης και χωροθετείται συνήθως στο κεντρικό τμήμα της κεφαλής της σιδηροτροχιάς. Η χωροθέτηση των σημείων γένεσης των ρωγμών κοντά στη επιφάνεια είναι σπάνια [2].

Το κρίσιμο μέγεθος της επιφάνειας της ρωγμής αναλύεται στα έγγραφα του Γραφείου Έρευνας και Δοκιμών της Διεθνούς Ένωσης Σιδηροδρόμων (ORE) D 88 και E 135. Οι παρακάτω στατιστικές τιμές βρέθηκαν για τις κρίσιμες επιφάνειες των ρωγμών σε σχέση με το εμβαδόν της διατομής της κεφαλής της σιδηροτροχιάς:

	ORE D 88 [7]	Chmiel [1]
Αριθμός δειγμάτων	36	41
Μέση σχετική επιφάνεια ρωγμής	80,20%	76,30%
Τυπική απόκλιση	8,30%	11,80%
Ελάχιστη τιμή	64%	52%
Μέγιστη τιμή	97%	100%

Οι τιμές των κάθετων αξόνων των κρίσιμων ρωγμών, που δίνονται στο [1], υπολογίστηκαν ξανά με χρήση της επιφάνειας της κεφαλής της σιδηροτροχιάς

UIC 60 των 3109 mm² και λαμβάνοντας επίσης υπόψη αξονική αναλογία 1:1,5.

Μετά από τον μη καταστροφικό έλεγχο των σιδηροτροχιών στη γραμμή, οι ύποπτες ρωγμές, δηλαδή εκείνες που είναι σχετικά μεγάλες, αφαιρούνται από τη γραμμή πριν από τη θραύση της σιδηροτροχιάς. Σύμφωνα με τους Prasil και Moulin [3], αυτό μειώνει το μέσο κρίσιμο μέγεθος των ρωγμών από μία πιθανή τιμή 70% της επιφάνειας της κεφαλής της σιδηροτροχιάς στο 57%. Η τυπική απόκλιση του σχετικού κρίσιμου μεγέθους των ρωγμών προσδιορίζεται από τους Prasil και Moulin να είναι 18% της επιφάνειας της κεφαλής της σιδηροτροχιάς. Τα στατιστικά δεδομένα βασίζονται σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 50 θραυσμένες σιδηροτροχιές.

Οι επιπλέον δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια υπέδειξαν ότι για 83 θραυσμένες σιδηροτροχιές, που παρουσίαζαν εγκάρσιες ρωγμές στην κεφαλή (63 κατακόρυφες ρωγμές κόπωσης στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς (Αρ. 211) και 20 εγκάρσιες ρωγμές σε ηλεκτροσυγκολλήσεις (Αρ. 411)):

- η μέση τιμή S_c/S_K για το 75% των δειγμάτων με ρωγμή Αρ. 211 ήταν 69%,
- το 90% των δειγμάτων είχε τιμή $S_c/S_K \geq 0,55$,
- το 10% των δειγμάτων είχε τιμή $S_c/S_K < 0,45$.

Η μέση τιμή $S_c/S_K = 0,77$ προσδιορίστηκε για τις ηλεκτροσυγκολλήσεις, με το 95% των δειγμάτων να έχει τιμή $S_c/S_K \geq 0,55$. Παρά ταύτα αναφέρθηκε μία θραύση σιδηροτροχιάς που οφείλονταν σε ρωγμή Αρ. 211 με κατακόρυφο ελλειπτικό άξονα 14mm [4], που αντιστοιχεί σε περίπου ένα 10% της επιφάνειας της κεφαλής της σιδηροτροχιάς. Παράλληλα η μέση τιμή για το συγκεκριμένο δείγμα ήταν περίπου 45mm (κοντύτερος ελλειπτικός άξονας – 2a), που αντιστοιχεί σε περίπου 75% της επιφάνειας της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.

Όσον αφορά τη μορφή, οι ρωγμές στις κολλήσεις στο εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς μπορούν να παρομοιαστούν με νεφροειδούς σχήματος ρωγμές στο εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς.

β) Εγκάρσιες ρωγμές με πηγή προέλευσης την επιφάνεια της σιδηροτροχιάς.

Τα σχήματα των εγκάρσιων ρωγμών που ξεκινούν από την επιφάνεια μπορεί να θεωρηθούν ως δισδιάστατες, ή όπως είναι πιο κοινό, ως ενός τετάρτου ή ημιελλειπτικές ρωγμές. Εμφανίζονται κυρίως στην επιφάνεια κύλισης των σιδηροτροχιών ή στο χαμηλότερο τμήμα του πέλματος της σιδηροτροχιάς. Οι παράμετροι της μορφής των ημιελλειπτικών ρωγμών, που προέρχονται από μία αρχική εγκοπή και δημιουργούνται στα πλαίσια εργαστηριακών δοκιμών, έχουν αναλυθεί από τους Schweitzer και Heller [5]. Σύμφωνα με τις τιμές των αναλύσεων τους, η αξονική αναλογία των ρωγμών στην κεφαλή και στο πέλμα της σιδηροτροχιάς, εκτός από μικρές ρωγμές που δεν είναι ακόμα κρίσιμες για τη λειτουργία, είναι κατά μέσο όρο 1:1,25.

Οι εγκάρσιες ρωγμές στις συγκολλήσεις της κεφαλής της σιδηροτροχιάς

μπορεί να δημιουργήσουν μεγάλης πυκνότητας ρωγμές που ξεκινούν από την επιφάνεια κύλισης με πρόσοψη μία οριζόντια ρωγμή, αλλά μπορεί επίσης να δημιουργήσουν ενός τετάρτου ελλειπτικές γωνιακές ρωγμές εφόσον η ατέλεια κοντά στην επιφάνεια που προκαλεί τη ρωγμή έχει μετατοπιστεί πλευρικά. Οι εγκάρσιες ρωγμές στις αλουμινοθερμικές κολλήσεις στο πέλμα της σιδηροτροχιάς μπορεί να εξελιχθούν σε ημιελλειπτικές ρωγμές μέχρι βάθους 23mm [6] υπό σταθερού πλάτους κύματος τάση.

Στις αλουμινοθερμικές κολλήσεις, όπως και σε άλλους τύπους κολλήσεων, οι εγκάρσιες ρωγμές μπορεί συχνά να σχηματιστούν στο πάνω τμήμα του πέλματος της σιδηροτροχιάς.

Οι θραύσεις λόγω ηλεκτροσυγκόλλησης, που είναι συνηθισμένη μέθοδος συγκόλλησης σιδηροτροχιών, ξεκινούν από το χαμηλότερο τμήμα του πέλματος της σιδηροτροχιάς. Οι ρωγμές είναι σχεδόν ημικυκλικές, και σε εξαιρετικές περιπτώσεις διαπερνούν εξ ολοκλήρου το πέλμα της σιδηροτροχιάς. Μελέτες που διεξήχθησαν υπέδειξαν ότι παρόμοιες ρωγμές σε απόσταση σχεδόν 150mm από την ηλεκτροσυγκόλληση προκαλούν τη θραύση της σιδηροτροχιάς, όταν φτάνουν σε βάθος 2-3mm [6].

γ) Διαμήκειες ρωγμές σε κορμούς και κολλήσεις σιδηροτροχιάς.

Οι διαμήκειες ρωγμές στον κορμό της σιδηροτροχιάς, που ξεκινούν από την επιφάνεια της σιδηροτροχιάς, αρχικά διατρέχουν οριζόντια κατά μήκος τη σιδηροτροχιά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, καθώς η ρωγμή πλησιάζει την απέναντι εξωτερική πλευρά του κορμού, στρίβει ολοένα και περισσότερο προς τα πάνω. Αφού τέτοιες διαμήκειες ρωγμές στη μία πλευρά του κορμού μπορεί να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις, η καταλληλότερη παράμετρος για την περιγραφή του κρίσιμου μεγέθους της ρωγμής είναι το βάθος της και όχι το μήκος της.

Οι διαμήκειες ρωγμές στις αλουμινοθερμικές συγκολλήσεις στον κορμό της σιδηροτροχιάς είναι αρχικά ημιελλειπτικές επιφανειακές ρωγμές, που ξεκινούν από εγκάρσιες αστοχίες στην περιφέρεια της κόλλησης. Σε μεταγενέστερο στάδιο, εξελίσσονται σε συνεχείς ρωγμές. Στην περίπτωση ηλεκτροσυγκολλήσεων, συνεχείς διαμήκειες ρωγμές 350mm μπορεί να εμφανιστούν χωρίς να έχουμε θραύση της σιδηροτροχιάς.

δ) Ρωγμές στις οπές των αμφιδετών.

Οι ρωγμές στις οπές των αμφιδετών συνήθως αναπτύσσονται ακτινωτά με γωνία 45° ή 0° σε σχέση με τον διαμήκη άξονα της σιδηροτροχιάς. Διαφορετικές κατευθύνσεις των ρωγμών είναι πιθανές εφόσον ασκούνται οι ανάλογες τάσεις ή υφίστανται οι ανάλογες αστοχίες. Οι κύριοι τύποι των ρωγμών που εμφανίζονται στην περιοχή των αμφιδετών καταγράφηκαν από τους Sugijama και Yamazaki [8] που χρησιμοποίησαν 416 τύπους 50 PS θραυσμένων

σιδηροτροχιών.

Συμπληρωματικά με αυτούς τους σχετικά απλούς τύπους ρωγμών, στην πράξη παρατηρείται ένας μεγάλος αριθμός και άλλων σύνθετων ρωγμών.

6.3.2. Ανάπτυξη ρωγμών.

α) Εσωτερικές ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντικότητά τους, πολλά σιδηροδρομικά δίκτυα έχουν μελετήσει λεπτομερώς την ανάπτυξη των νεφροειδούς σχήματος ρωγμών στο εσωτερικό της κεφαλής της σιδηροτροχιάς κατά τη λειτουργία της γραμμής. Για την παρουσίαση των αρχών που διέπουν την ανάπτυξη των ρωγμών συναρτήσει του όγκου κυκλοφορίας Q , χρησιμοποιούνται εκθετικοί τύποι. Στον ακόλουθο τύπο

$$A_{\text{crack}}(Q) = A_{\text{crack}}(Q=0) \cdot \exp(Q/Q_0)$$

έχουν αναφερθεί διάφορες τιμές για το Q_0 (7,21Mt [9], 25Mt [10] και 38,5Mt [11]). Η ανάπτυξη των ρωγμών κοντά στις αμφιδετημένες ενώσεις σιδηροτροχιών εμφανίζεται σχεδόν 1,8 με 2,5 φορές γρηγορότερα από ότι στο κέντρο της σιδηροτροχιάς [10].

Μεγαλύτερος ρυθμός ανάπτυξης των ρωγμών στο εσωτερικό της κεφαλής των σιδηροτροχιών παρατηρείται στις καμπύλες και όταν ασκείται μεγάλο δυναμικό φορτίο ανά άξονα.

β) Εγκάρσιες ρωγμές που ξεκινούν από την επιφάνεια του πέλματος της σιδηροτροχιάς

Οι ρωγμές στο κάτω τμήμα του πέλματος της σιδηροτροχιάς, και η ανάπτυξη τέτοιων ρωγμών, είναι δύσκολο να προσδιοριστούν στη γραμμή, καθώς η περιοχή ελέγχου, που είναι προσβάσιμη για υπερηχητικό έλεγχο, είναι περιορισμένη.

Ο Takimoto [6] εξέτασε την ανάπτυξη μιας ημιελλειπτικής ρωγμής στο πέλμα μίας αλουμινοθερμικά συγκολλημένης 50 t σιδηροτροχιάς. Μία κυματοειδής τάση με ελάχιστη τιμή 19,6 Mpa και με μέγιστη τιμή 176,5 Mpa προκάλεσε αξιοσημείωτη επιτάχυνση στην ανάπτυξη της ρωγμής για βάθος ρωγμής μεγαλύτερο από 5mm.

γ) Οριζόντιες διαμήκεις ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς

Οι οριζόντιες διαμήκεις ρωγμές στην κεφαλή στο άκρο της σιδηροτροχιάς συμπεριφέρονται με πολύ διαφορετικούς τρόπους υπό τα φορτία λειτουργίας στη γραμμή. Η συμπεριφορά κυμαίνεται από σχεδόν μηδενική έως και ραγδαία

ανάπτυξη ρωγμής. Στο κεντρικό τμήμα της σιδηροτροχιάς, οι οριζόντιες διαμήκεις ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς δεν αναπτύσσονται άλλο μετά από ένα συγκεκριμένο στάδιο [12,7].

δ) Ρωγμές κοντά στις οπές των αμφιδετών

Σαν μέρος των μελετών της Ειδικής Επιτροπής ORE D 21, επικυρώθηκε ότι η ανάπτυξη των ρωγμών μπορεί να ποικίλει σημαντικά. Σε αντίθεση με το 6% των ρωγμών που εξετάστηκαν και παρουσίασε ταχεία αύξηση και το 14% που παρουσίασε μία μικρή αύξηση, το 80% των ρωγμών δεν αναπτύχθηκε καθόλου μέσα σε 9 μήνες [12,7].

Εκτός από τα φορτία συντήρησης, η ηλικία των σιδηροτροχιών, τα φαινόμενα διάβρωσης, η συντήρηση της γραμμής και επιπλέον μη προσδιορίσιμες παράμετροι επιδρούν στον ρυθμό ανάπτυξης των ρωγμών στον κορμό κοντά στους αμφιδέτες [7].

6.3.3. Λειτουργικοί Κίνδυνοι που οφείλονται σε Θραύσεις Σιδηροτροχιάς.

Για τον καθορισμό της φθοράς στην σιδηροτροχιά ή στην κόλληση [13], οι ακόλουθοι παράγοντες είναι καθοριστικοί:

- αν υπάρχει ένα ολικό εγκάρσιο σπάσιμο της σιδηροτροχιάς ή αν μέρος της κεφαλής της σιδηροτροχιάς έχει αποσπαστεί,
- η θέση και η κατεύθυνση της σιδηροτροχιάς ως προς τη διατομή της σιδηροτροχιάς,
- το σχήμα και το μέγεθος της ρωγμής,
- αν υπάρχουν αρκετές ρωγμές στην ίδια σιδηροτροχιά.

Με βάση μακροχρόνιες έρευνες του τμήματος συντήρησης του PKP, και λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες, οι ρωγμές ταξινομούνται σε ομάδες (κατηγορίες αστοχιών). Η ταξινόμηση αρχίζει με εκείνες τις ρωγμές που συνιστούν τους μεγαλύτερους κινδύνους (Ομάδα I, Πίνακας I).

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες για την εκτίμηση της κατηγορίας επικινδυνότητας είναι:

- η επιτρεπόμενη ταχύτητα των συρμών στη γραμμή,
- η κατηγορία της γραμμής, π.χ. υψηλά φορτιζόμενες σιδηροτροχιές που εξυπηρετούν ταχεία τρένα,
- η χωροθέτηση της ρωγμής στη σιδηροτροχιά, π.χ. η εξωτερική σιδηροτροχιά σε μια καμπύλη σε ένα υψηλό επίχωμα, γέφυρα ή σήραγγα κτλ.,
- τα όρια ανίχνευσης των μη καταστροφικών μεθόδων ελέγχου.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι:Κατηγορίες των ατελειών της σιδηροτροχιάς με βάση το επίπεδο επικινδυνότητας τους κατά PKP.

Κατηγορία αστοχίας	Τύποι αστοχιών κατά UIC				
	232	2321	2322	236	
I					
II	100	111	112	113	132
	1321	1322	1333	135	153
	200	211	212	301	302
	411	412	421	4211	4212
	4213	4222	431	471	481
III	122	139	2203	2204	2222
	325	2251	2252	254	472
IV	121	123	124	125	134
	154	2201	2202	221	2211
	2212	2213	2221	223	224

(Πηγή: ORE E 162).

6.4. Μελέτες Μηχανισμού Θραύσεως.

6.4.1. Ανάλυση του Μηχανισμού Θραύσεως των Μη Σταθερά Διαδιδόμενων Ρωγμών στις Σιδηροτροχιές και στις Θερμοκολλήσεις.

Το κρίσιμο μέγεθος των ρωγμών, που ξεκινούν και στις δύο πλευρές των οπών των αμφιδετών, έχουν αναλυθεί από τους Allen και Morland [4], σαν αποτέλεσμα των τάσεων που ασκούνται στον κορμό της σιδηροτροχιάς κοντά στις οπές των κοχλιών. Η διασπορά στα κρίσιμα μεγέθη των ρωγμών μπορεί να υπολογιστεί από αυτό το σχήμα με τη χρήση εφαπτομενικών τάσεων στο άκρο της οπής, που κυμαίνονται από 460 μέχρι 600 Mpa.

Αν η θραύση της σιδηροτροχιάς έχει πηγή προέλευσης τις εγκάρσιες ρωγμές που ξεκινούν από την επιφάνεια κύλισης, τότε όλες οι πιέσεις που οφείλονται στις δυνάμεις των τροχών, στις θερμοκρασιακές φορτίσεις και στις παραμένουσες τάσεις στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς πρέπει να θεωρούνται σημαντικές πιέσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέγιστη αρνητική ροπή κάμψης εμφανίζεται μεταξύ των δύο αξόνων των τροχών. Οι παραμένουσες τάσεις στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς ποικίλουν ανάλογα με το βάθος κάτω από την επιφάνεια κύλισης παίρνοντας μία περίπου γραμμική μορφή. Η τιμή **rms** των παραμένουσων τάσεων κοντά στην εγκάρσια ρωγμή στην επιφάνεια κύλισης μπορεί να προσεγγιστεί από τη μέση τιμή των διαμηκών παραμένουσων τάσεων στην επιφάνεια κύλισης και στο επίπεδο της πρόσωσης της ρωγμής.

Ανάλογα με το ρυθμό αύξησης των τάσεων σε σχέση με το χρόνο, είτε η στατική είτε η δυναμική αντοχή σε θραύση χρησιμοποιείται για την κρίσιμη τιμή του παράγοντα έντασης K_I .

Για τον προσδιορισμό ενός όχι μόνο θεωρητικού κατώτερου ορίου για το κρίσιμο βάθος ρωγμής a_c , η εκτίμηση του μηχανισμού θραύσης αυτού του

κρίσιμου βάθους παίρνει τη μορφή μιας διαδικασίας προσομοίωσης (μέθοδος Monte-Carlo).

Οι αντιθέσεις με την πρακτική εμπειρία, που συχνά παρατηρούνται, μπορούν να εξηγηθούν αν ληφθούν υπόψη οι υποθέσεις πάνω στις οποίες είναι βασισμένες οι εκτιμήσεις της διαδικασίας προσομοίωσης.

Το όριο συντήρησης $a_{adm \max}$ προσδιορίζεται σε σχέση με την ελάχιστη τιμή a_c ($P_u = 90\%$), που προκύπτει από πιθανοτικές εκτιμήσεις για το κρίσιμο μέγεθος ρωγμής, χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή ασφαλείας S_a σύμφωνα με τη σχέση

$$a_{adm \max} = a_c (P_u = 90\%) / S_a \leq a_{c \min}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας S_a λαμβάνει υπόψη τη διασπορά των κρίσιμων αναπτύξεων ρωγμών με διάστημα εμπιστοσύνης μεγαλύτερο από 90%. Για να διασφαλιστεί ότι το όριο συντήρησης $a_{adm \max}$ είναι κάτω από την ελάχιστη τιμή του κρίσιμου μεγέθους ρωγμής που παρουσιάζεται στις συνθήκες συντήρησης, πρέπει η τιμή αυτή να προσδιορίζεται σωστά. Αν οι υποθετικές εκτιμήσεις περιέχουν αβεβαιότητες, αυτές πρέπει να εξαλειφθούν μέσω της αύξησης του συντελεστή ασφαλείας.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του DR, οι ακόλουθες τιμές αποτελούν τις αντιπροσωπευτικές ελάχιστες τιμές για το κρίσιμο μέγεθος ρωγμής, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του DR για τις εγκάρσιες ρωγμές στις συγκολλήσεις που διαπερνούν την επιφάνεια κύλισης:

$$a_c (P_u = 90\%) = 35,5\text{mm για προφίλ S 49}$$

$$a_c (P_u = 90\%) = 34,3\text{mm για προφίλ R 65}$$

Για την εξασφάλιση της μη σταθερής διάδοσης των ρωγμών, ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να λαμβάνεται

$$S_a = 1,4$$

και αν το προκύπτον όριο συντήρησης στρογγυλοποιείται στα 5mm, τότε το ενιαίο όριο συντήρησης λαμβάνεται

$$a_{adm \max} = 25\text{mm}$$

για τις συγκολλήσεις στις S 49 και R 65 σιδηροτροχιές.

Για τις εγκάρσιες ρωγμές στην επιφάνεια κύλισης των S 49 σιδηροτροχιών, υπό παρόμοιες συνθήκες λαμβάνεται ως όριο συντήρησης ένα λίγο μικρότερο βάθος ρωγμής από 20mm, λαμβάνοντας υπόψη τις χαρακτηριστικές διαμήκεις παραμένουσες τάσεις των σιδηροτροχιών.

6.4.2. Ανάλυση του Μηχανισμού Θραύσεως των Σταθερά Διαδιδόμενων Ρωγμών στις Αλουμινοθερμικές Συγκολλήσεις.

Για χάριν ευκολίας για την εκτίμηση του τρόπου διάδοσης των ρωγμών, χρησιμοποιείται η κατανομή συχνοτήτων των δυναμικών αξονικών φορτίων που πραγματικά ασκούνται και όχι τα επιτρεπόμενα δυναμικά αξονικά δυναμικά φορτία που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση της συμπεριφοράς έναντι θραύσεως των σιδηροτροχιών και των κολλήσεων. Οι δυνάμεις που ασκούν οι τροχοί μπορούν να υπολογιστούν από αυτά τα στατικά φορτία που αντιστοιχούν στα φορτία που προσδιορίζονται από τον Eisenmann [14].

Η βάση των εκτιμήσεων του μηχανισμού θραύσεως των σταθερά διαδιδόμενων ρωγμών για τις κολλήσεις των σιδηροτροχιών είναι μια τροποποιημένη φόρμα των αρχών για τη διάδοση των ρωγμών του Παρισιού [15].

Η εκτίμηση του μηχανισμού θραύσεως των σταθερά διαδιδόμενων ρωγμών, με βάση την οποία προσδιορίζεται ο εναπομείναν χρόνος συντήρησης για ένα δεδομένο βάθος ρωγμής a_o μέχρι το όριο συντήρησης $a_{adm \max}$, για χάριν ευκολίας πραγματοποιείται επίσης σαν εκτίμηση προσομοίωσης (μέθοδος Monte-Carlo).

Γίνεται η παραδοχή ότι η μέγιστη τιμή της πραγματικής ή αναμενόμενης αύξησης του μεγέθους της ρωγμής $\Delta a_{\max}$ είναι πολλαπλάσιο της αντιπροσωπευτικής εκτιμούμενης μέγιστης τιμής της αύξησης του μεγέθους της ρωγμής, η οποία αντιστοιχεί σε πιθανότητα 90%:

$$\begin{aligned}\Delta a_{\max} &= S_{a'} * \Delta a (P_{a'} = 90\%) \\ &= S_{a'} * [a_{adm \max} - a_o (q = 10\%)]\end{aligned}$$

Η χρήση του συντελεστή ασφαλείας

$$S_{a'} = 1,5$$

κρίνεται κατάλληλη για τη διασφάλιση της επάρκειας έναντι σε μη αναμενόμενη ανάπτυξη των ρωγμών.

Το επιτρεπόμενο μέγεθος των ρωγμών a_{adm} τη χρονική στιγμή του μη καταστροφικού ελέγχου της κόλλησης της σιδηροτροχιάς δίνεται από τη σχέση

$$a_{adm} = a_{adm \max} - \Delta a_{\max}$$

λαμβάνοντας υπόψη το όριο συντήρησης και τη μέγιστη αναμενόμενη αύξηση του μεγέθους των ρωγμών.

Η χρήση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του μηχανισμού θραύσεως πρέπει να έρχεται σε πλήρη αντιστοιχία με τον προσδιορισμό του μεγέθους των ρωγμών από το μη καταστροφικό έλεγχο. Είναι απαραίτητο ο μη

καταστροφικός έλεγχος να εφαρμόζεται ανά τακτά διαστήματα.

Αν το προσδιοριζόμενο μέγεθος των ρωγμών υπερβαίνει το όριο συντήρησης

$$a > a_{\text{adm max}}$$

τότε η ατέλεια πρέπει να προστατεύεται ή να αφαιρείται από τη γραμμή.

Αν έχει υποδειχθεί μία περίοδος επιθεώρησης σύμφωνα με τον όγκο κυκλοφορίας Q_{adm} ανάμεσα σε δύο επιτυχείς μη καταστροφικούς ελέγχους, μία ρωγμή με μέγεθος

$$a < a_{\text{adm}}$$

μπορεί να παραμείνει στη γραμμή τουλάχιστον μέχρι τον επόμενο μη καταστροφικό έλεγχο.

Αν η ρωγμή έχει μέγεθος

$$a < a_{\text{adm max}}$$

και δεν έχουν προγραμματιστεί ή δεν είναι δυνατές περαιτέρω επιθεωρήσεις, ο επιτρεπόμενος εναπομείναν χρήσιμος χρόνος ζωής μπορεί να ληφθεί από το σημείο στο οποίο η χαρακτηριστική καμπύλη της ανάπτυξης της ρωγμής (με τον προτεινόμενο συντελεστή ασφαλείας $S_a = 1,5$) τέμνεται με τον άξονα y στα αντίστοιχα διαγράμματα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

7.1. Σύνοψη Διπλωματικής Εργασίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται επισκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά στη σιδηροτροχιά. Αναφέρονται στοιχεία σχετικά με την χημική σύσταση, την κατεργασία και τον σχεδιασμό της σιδηροτροχιάς. Προκύπτει ότι ο σχεδιασμός της σιδηροτροχιάς δεν ακολουθεί ένα συγκεκριμένο τρόπο λόγω των πολλών απροσδιόριστων παραγόντων που επηρεάζουν τη δυναμική φόρτιση, την ελαστική δράση και την ευστάθεια των συρμών, τις συνθήκες συντήρησης, τα υλικά και τις γενικές ελαστικές ιδιότητες της γραμμής. Οι αλλαγές στον σχεδιασμό της σιδηροτροχιάς είναι συνήθως αποτέλεσμα αστοχιών των υπαρχόντων σχεδίων. Η συνεχής αύξηση των φορτίων ανά άξονα και των ταχυτήτων κυκλοφορίας διατηρεί τον σχεδιασμό σιδηροτροχιάς σε δυναμική κατάσταση. Απαιτείται συνεχής προσπάθεια ώστε ο σχεδιασμός σιδηροτροχιάς να εξελίσσεται ανάλογα με τις αλλαγές στον σχεδιασμό των συρμών.

Επιπρόσθετα αναφέρονται οι δυνάμεις που δέχεται η σιδηροτροχιά και οι τάσεις που αναπτύσσονται. Περιγράφεται εκτενώς το φαινόμενο της κόπωσης εξ επαφής λόγω κύλισης, το οποίο αποτελεί και ένα βασικό αίτιο (εκτός της κακής κατασκευής και κακής χρήσης της σιδηροτροχιάς) εμφάνισης ατελειών στη γραμμή και άμεση απόρριψη των αναπτυσσόμενων τάσεων στη σιδηροτροχιά και κυρίως των τάσεων επαφής. Επομένως εκτός της χρήσης ενός ανθεκτικότερου χάλυβα προτείνεται και η διατήρηση των τάσεων επαφής εντός των επιτρεπτών ορίων, μειώνοντας το κατακόρυφο φορτίο κυκλοφορίας.

Οι αναφορές στις παραπάνω παραμέτρους βοηθούν στο να γίνουν κατανοητοί οι μηχανισμοί εξέλιξης των αστοχιών της σιδηροτροχιάς και η κατάταξή τους σύμφωνα με τον κώδικα της Διεθνούς Ένωσης Σιδηροδρόμων (UIC) και κατόπιν εξετάζεται κάθε είδος αστοχίας ξεχωριστά με λεπτομέρειες για τα χαρακτηριστικά της και τη θέση εμφανίσεώς της, τα μέσα ανίχνευσής της και για τις προτεινόμενες ενέργειες επιδιόρθωσής της.

Επίσης αναφέρονται θέματα υπολογισμού της διάρκειας ζωής της σιδηροτροχιάς η οποία μειώνεται ανάλογα με την αύξηση της καμπυλότητας. Αναφέρονται οι ενέργειες εγκατάστασης αλλά και συντήρησης της σιδηροτροχιάς.

Τέλος παρουσιάζεται το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος των αστοχιών της σιδηροτροχιάς μέσω της εφαρμογής των εμπειρικών δεδομένων που αποκτώνται από τη λειτουργία των σιδηροδρομικών δικτύων και από τις αναλύσεις του μηχανισμού θραύσεως. Ο επικρατέστερος τύπος αστοχίας σιδηροτροχιάς μπορεί να ποικίλλει σημαντικά από σιδηρόδρομο σε σιδηρόδρομο οπότε και καθίσταται δύσκολο να γίνουν συγκρίσεις. Οι αναλύσεις του μηχανισμού θραύσεως έχουν διεξαχθεί σε εγκάρσιες ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς, σε ρωγμές στις οπές των αμφιδετών και σε ρωγμές αλουμινοθερμικής συγκόλλησης.

Οι διαθέσιμες πληροφορίες από τις εργασίες συντήρησης για τα συμβάντα των ρωγμών και των θραύσεων στις σιδηροτροχιές και στις κολλήσεις δεν είναι επαρκείς για να καθοριστούν γενικά απαιτούμενα όρια και ιδανικοί κύκλοι ελέγχου και αυτό εξαιτίας

- της ποικιλίας των ρωγμών,
- της έλλειψης γνώσης για τα κρίσιμα μεγέθη και τον τρόπο διάδοσης των ρωγμών για ορισμένους τύπους ρωγμών και
- της μη ακριβούς καταγραφής των πραγματικών φορτίων λειτουργίας.

Οι περισσότερες πληροφορίες, που συλλέγονται κατά τη συντήρηση σχετικά με κρίσιμα μεγέθη και τρόπους διάδοσης των ρωγμών, αφορούν στις εσωτερικές ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς. Η γνώση για τα κρίσιμα μεγέθη των ρωγμών για αυτό το είδος της αστοχίας καθιστά δυνατό τον προγραμματισμό ιδανικών κύκλων επιθεώρησης και τον προσδιορισμό του απομένοντα χρόνου συντήρησης της σιδηροτροχιάς.

Για τις εγκάρσιες επιφανειακές ρωγμές στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς, από τις εκτιμήσεις, που χρησιμοποιούν πιθανοτικούς μηχανισμούς θραύσεως, εξάγονται αποτελέσματα που υπό συγκεκριμένες συνθήκες συμφωνούν με τις παρατηρήσεις κατά τη συντήρηση.

Εκτιμήσεις του μηχανισμού θραύσεως είναι επίσης δυνατές και για τις εγκάρσιες ρωγμές στην επιφάνεια του πέλματος της σιδηροτροχιάς. Παρά ταύτα, λόγω των μικρών κρίσιμων οριακών τιμών αλλά και της δυσκολίας ανίχνευσης τέτοιων αστοχιών στην πράξη, στην παρούσα φάση τα αποτελέσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ειδικές, μεμονωμένες περιπτώσεις.

Οι πληροφορίες που συλλέγονται κατά τη συντήρηση για τις εγκάρσιες επιφανειακές ρωγμές στις αλουμινοθερμικές συγκολλήσεις στο πέλμα της σιδηροτροχιάς δεν αποτελούν επαρκή βάση για την εξαγωγή οριακών τιμών.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες του κάθε σιδηροδρομικού δικτύου, οι μελέτες του μηχανισμού θραύσεως πρέπει να εφαρμόζονται για την εξαγωγή οριακών τιμών που θα χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του μη καταστροφικού ελέγχου.

Για να γίνει δυνατή η εφαρμογή αυτών των εκτιμήσεων σε κάθε τύπο αστοχίας απαιτούνται πληροφορίες για όλες τις ασκούμενες τάσεις και τους παράγοντες που επηρεάζουν την έντασή τους και για τις ιδιότητες του μηχανισμού θραύσεως των υλικών, καθώς και δεδομένα από τις παρατηρήσεις κατά τη συντήρηση. Η ακρίβεια του ελέγχου και ο βαθμός ευαισθησίας της διαδικασίας ανίχνευσης της μεθόδου μη καταστροφικού ελέγχου πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών.

Υπάρχουν διαφορές στα εμπειρικά δεδομένα των διαφόρων σιδηροδρομικών δικτύων που αφορούν:

- στη συχνότητα εμφάνισης της αστοχίας,
- στον τύπο, στη θέση και στο μέγεθος της αστοχίας και

- στον τρόπο εκτίμησης της αστοχίας.

Γενικά ο σωστός συνδυασμός των εμπειρικών δεδομένων με τις αναλύσεις του μηχανισμού θραύσης αποτελεί ένα ισχυρό εφόδιο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των αστοχιών στη σιδηροτροχιά.

7.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια καταγραφής των σημαντικότερων στοιχείων που αφορούν στη σιδηροτροχιά ως επίπεδο κύλισης αλλά και ως φορέα. Για τον σκοπό αυτό περιγράφηκε η χημική της σύσταση, η κατασκευή της και οι αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό της καθώς και οι δυνάμεις που δέχεται, οι τάσεις που αναπτύσσονται και οι αστοχίες που προκαλούνται. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η σιδηροτροχιά αποτελεί μια αξιοσημείωτη επένδυση κεφαλαίου και συνοδεύεται από δαπάνες, που ένα μεγάλο μέρος τους αποτελούν και οι δαπάνες συντήρησης, εύκολα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητη η λειτουργία ενός Συστήματος Διαχείρισης Συντήρησης της Σιδηροδρομικής Υποδομής. Θα μπορούσε λοιπόν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία που συγκεντρώνονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, ως θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη ενός πληροφοριακού εργαλείου το οποίο θα συνδέει τις αστοχίες που εμφανίζονται στη σιδηροτροχιά με τις απαιτούμενες προς επιδιόρθωση τους, εργασίες, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό του κόστους των αστοχιών. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν να προγραμματίζονται από τους υπευθύνους οι εργασίες συντήρησης της σιδηροδρομικής υποδομής και να εξασφαλιστεί η λειτουργία ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Συντήρησης Σιδηροδρομικής Υποδομής. Η βάση των δεδομένων του πληροφοριακού εργαλείου η οποία θα δομείται πάνω στο παραπάνω θεωρητικό υπόβαθρο θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από πλήθος παραμέτρων έτσι ώστε να παρέχεται μια εποπτική εικόνα της κατάστασης του σιδηροδρομικού δικτύου. Εφόσον λοιπόν οι παράμετροι που αφορούν την σιδηροτροχιά βρίσκονται σε συνεχή εξέλιξη κρίνεται αναγκαία και η ανανέωση της βάσης δεδομένων του όποιου πληροφοριακού εργαλείου έχει καταστρωθεί.

Επιπρόσθετα με τον εμπλουτισμό της βάσης δεδομένων του εκάστοτε πληροφοριακού εργαλείου με παραμέτρους όπως η χρήση του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) για τη συνεχή αναπαράσταση της συντήρησης του σιδηροδρομικού δικτύου, η χρήση των αναλύσεων του μηχανισμού θραύσεως ή ακόμη και η σύνδεση των αστοχιών με αρχείο φωτογραφιών, θα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή όλο και πληρέστερων επεξηγηματικών προτύπων μέσω των οποίων θα γίνεται καλύτερη κατανόηση της σχέσεως μεταξύ φθοράς σιδηροτροχιάς και παραγόντων που την επηρεάζουν.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας του πλαισίου της συντήρησης σιδηροδρομικού δικτύου είναι και ο μη καταστροφικός έλεγχος της σιδηροτροχιάς. Στο κεφάλαιο 6 δίνεται η εξήγηση μιας μεθόδου, η οποία

στηρίζεται σε εμπειρικά δεδομένα από τη λειτουργία του σιδηροδρομικού δικτύου και σε αναλύσεις του μηχανισμού θραύσεως, και σύμφωνα με την οποία καθορίζεται ένα ασφαλές οριακό μέγεθος ρωγμής στη σιδηροτροχιά. Προς αυτή την κατεύθυνση λοιπόν θα πρέπει, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες του κάθε σιδηροδρομικού δικτύου, να γίνει η εφαρμογή των μελετών του μηχανισμού θραύσεως για την εξαγωγή οριακών τιμών για τα μεγέθη των ρωγμών σιδηροτροχιάς, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του μη καταστροφικού ελέγχου του εκάστοτε σιδηροδρομικού δικτύου. Επίσης θα πρέπει να συνυπολογιστούν τα εμπειρικά δεδομένα από τις παρατηρήσεις κατά τη συντήρηση για το κάθε σιδηροδρομικό δίκτυο χωριστά καθώς η συχνότητα εμφάνισης της αστοχίας, ο τύπος, η θέση και το μέγεθός της είναι διαφορετικά για κάθε σιδηρόδρομο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Συστήματα Διαχείρισης Συντήρησης της Σιδηροδρομικής Υποδομής ως αντικείμενο έρευνας βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και υπό συνεχή εξέλιξη. Επίσης ο μη καταστροφικός έλεγχος της σιδηροτροχιάς παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα οπότε αποτελεί αυτόματα έναν τομέα που θα πρέπει να διερευνηθεί εκτενέστερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

[1] *American National Standards*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1982.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

[1] *Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια*, Παύλος Δρανδάκης, -εκδόσεις ΦΟΙΝΙΞ ΕΠΕ, 1961.

[2] *Die Eisenbahntechnik: Entwicklung und Ausblick*, Hestra Verlag Darmstadt, Auflage, 1983.

[3] *Lexikon der Eisenbahn*, Transpress Verlag, 1990.

[4] DB Fachbuch, *Bauarten des Oberbaues*, Eisenbahn- Fachverlag, Heidelberg-Mainz, Band 8/12.

[5] DB Fachbuch, *Oberbauschweissen*, Eisenbahn- Fachverlag, Heidelberg-Mainz, Band 8/14.

[6] *Manual for Railway Engineering*, AREA, Washington, D.C., 1980-1981 revision, p.4-2-1.

[7] *Manual for Railway Engineering*, rev.ed., AREA, Washington D.C., 1978, p. 4-2-4 –4-2-6.

[8] Committee 4 on Rails, *Principles of Design for ARA Rails*, Proceedings of the AREA, 1908.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

[1] *Υπολογισμός Επιδομής*, Κ. Λυμπέρης, σημειώσεις εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών, 2003.

[2] H.R. Thomas and V.A. Hoersch, *Stresses due to the Pressure of One Elastic Solid Upon Another*, University of Illinois, Urbana, *Engineering Experiment Station Bulletin*, No 212, Vol. 27, No 46, July 15, 1930.

[3] H.R. Thomas, *Formulas and Diagrams for Computing Shearing Stresses in Rail Head Due to Direct Action of Wheel Load*, *Proceedings of the AREA*, Vol. 39, 1938.

[4] Gregory C. Martin, *The Influence of Wheel-Rail Contact Forces on the Formation of Rail Shells*, Ph.D. thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1970.

[5] R.E. Cramer, *Sixth Progress Report on Shelly Rails for the Joint Rail Committee*, *Proceedings of the AREA*, Vol. 49, 1948.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

[1] *UIC Handbook of Rail Defects 712R*, 4th edition, 2002.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

[1] Committee 4 on Rails, *Economic Value of Various Sizes of Rail*, Vol. 50,

1949.

[2] A.N. Reece, *Economic Selection of Rails, Proceedings of the AREA*, Vol. 51, 1930.

[3] *Recent Developments Affecting Rail Selections*, Committee 4 Rail, *Proceedings of the AREA*, Vol. 60, 1959.

[4] *Second Progress Report: Evaluation of Rail Sections*, Civil Engineering Studies, Transportation Series No.9, W.W. Hay, G. C. Martin, P. M. Schuch, M. W. Franke, and M. G. Mikkelsen, University of Illinois, Urbana, Illinois, May 1973.

[5] A. M. Zarembski, and R. A. Abbott, *Fatigue Analysis of Rail Subject to Traffic and Temperature Loading*, AAR Report, No. R-315, Technical Center, Chicago, Illinois, September 1978.

[6] *Rail Life*, Report of Assignment 7, Committee 16, Economics of Plant, Equipment, and Operations, *Proceedings of the AREA*, Vol. 58, 1957.

[7] *Second Progress Report: Evaluation of Rail Sections*, Civil Engineering Studies, Transportation Series No.9, W.W. Hay, G. C. Martin, P. M. Schuch, M. W. Franke, and M. G. Mikkelsen, University of Illinois, Urbana, Illinois, May 1973.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

[1] CHEMIEL E., *Control frequencies of UIC 60 type rails in the track using manual ultrasonic methods*, ORE DT 124 (E 139), 12/1980.

[2] Kecskes S., *Ermittlung der Entwicklung von nierenförmigen Ermüdungsrissen im Schienenkopf in den Linien der Ungarischen Staatseisenbahnen*, Schienen der Welt 3 (1972) 9, Seite 545-559.

[3] Prasil B., Moulin R., *Etude statistique de la méthode de contrôle des rails en voie*, Revue Générale des Chemins de fer, 100/1981.

[4] Allen R.J., Morland G.W., *The significance of defects in B.S. 11 rails: bolt-hole failures and taches ovales*, Symposium, London 72.

[5] Schweiser R., Heller W., *Risszähigkeit, Eigenspannungen und Bruchsicherheit von Schienen*, Tech. Mitteilungen Krupp-Werksberichte 39 (1981) 1, 33-41.

[6] Takimoto T., *Latest rail welding technology and its reliability*, Quarterly reports of the Railway Technical Research Institute, Tokyo 23/1982/3, 105-112.

[7] ORE D 88/RP 2, *Study on the dynamics of rail defects*, 1965.

[8] Sugiyama T., Yamazaki T., *The stress distribution around a bolt hole of a rail joint*, Quarterly reports of the Railway Technical Research Institute, Tokyo 20/1973/3, 132-133.

[9] Chipperfield C.G., *Untersuchungsmodell für Materialermüdung bei Schienen durch Rollkontakt*, Schienen der Welt 15, 1984, 1, RP. 35-41.

[10] Poroschin W.Z., *Influence of service factors on the growth rate of transverse cracks in the rail head*, Westnik WNJJShT 39, 1980, 4, 45-47.

[11] Kolotuschkin S.A., *Studies on the growth of fatigue cracks in the rail head*,

Westnik WNJJShT 30, 1971, 8, 36-37.

[12] ORE D 88/RP 4, *Measurements in the track of the size of internal transverse rail failures* - Studies of the SNCB concerning the dynamics of failures in the rail ends, 1966.

[13] ORE E 139/RP 5.

[14] Eisenmann J., *Die Schiene als Träger und Fährbahn - Theoretische Grundlagen und praktische Beispiele*, In: F. Fastenrath (Prague) *Die Eisenbahnschiene*, Verlag von W. Brent u. Sohn. Berlin (München) Düsseldorf, 1977.

[15] Edel K.O., DT 183/E 162, *Die Festlegung zulässiger Riessgrössen für Schienen und Schienenschweissungen auf der Grundlage der probalilistischen Bruchmechanik*, 1987.

