

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département de génie mécanique



PROJET DE FIN D'ETUDES

*Présenté pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Génie Mécanique*

Thème

***Etude d'une machine à souder par étincelage et
caractérisation d'un cordon soudure.***

Encadré par :

 **Mr I. BELHADEF**

Présenté par :

 **LATEF Mohamed**

Promotion : septembre 2006

ENP- 10, avenue Hacene Badi - El Harrach - Alger



Dédicaces

Au-delà des personnes, des lieux et des temps, je dédie ce travail avec ma profonde conviction, à tous ceux qui ont toujours cru et sans doute à la Science. Cette lumière qui éclaire les esprits et leur permet de transcender les limites installées par les sociétés et les cultures dans leurs périodes de dégénérescence.

Je le dédie aussi :

A ceux qui savent concrétiser leurs idées et savent réussir.

A ceux qui ne portent que du bien pour les autres.

A ceux qui ne vivent que dans et par la vérité.

Sans oublier mes chers parents.

Mes frères et à mes soeurs.

Mes proches, oncles et tentes, et leurs familles

Mes collègues et amis.

Et tous les enseignants de Génie mécanique et élèves de la promotion (2005-2006) de l'école nationale polytechnique.



Mohamed LATEF

Remerciements

Au terme de ce Mémoire nous tenons à remercier tout naturellement en premier lieu Dieu le tout Puissant qui m'a donné la force, le courage et la patience de bien mener ce travail.

Je tiens à remercier très vivement mon promoteur, Mr Belhadeh pour sa disponibilité, sa gentillesse, ses conseils et ses pertinentes remarques.

Je remercie vivement Messieurs Brahmi, Chef d'atelier, Hamid et Habib techniciens de l'entreprise INFRAFER pour leur aide leurs fructueux conseils et leur sympathie.

Je tiens aussi à remercier Messieurs le Chef de section laboratoire D.SALAHOUI et l'ingénieur D. HADJERES du laboratoire de soudage de l'entreprise nationale GTP pour m'avoir aidé à effectuer les essais de traction.

Je tiens à remercier Dr. HELLEL Professeur au département de Métallurgie pour m'avoir aidé à effectuer l'analyse microscopique.

Je remercie vivement Messieurs Brahmi, Chef d'atelier, Hamid et Habib techniciens de l'entreprise INFRAFER pour leur aide leurs fructueux conseils et leur sympathie.

Je remercie vivement Mr Belhaneche pour l'honneur qu'il me fait en président le jury de cette thèse.

Mes remerciements les plus sincères à Mr Guergued, pour son aide, ses conseils et d'avoir accepté de juger ce travail.

Pour les nombreux soutiens que j'ai reçus dans le cadre de mon projet de fin d'études, c'est une grande satisfaction pour moi de remercier ceux qui m'ont aidé à le mener à bien.

Mes remerciements adressent également à toute la famille du département Génie mécanique de l'ENP (Enseignant, Techniciens et Etudiants).

TABLE DES MATIERES
INTRODUCTION GENERALE**Chapitre I : Les procédés de soudage**

I.1- Introduction	01
I.2- Classification des procédés de soudage.....	01
I.2.1- Le soudage par fusion et sans fusion	01
I.2.2. Classification suivant la source d'énergie et le type de protection du joint soudé.....	02
I.2.3- Classification par la forme d'énergie utilisée.....	03
I.2.3.1- Energie électrique	03
I.2.3.1.1- Soudage par résistance.....	03
I.2.3.1.2- Procédés dans lesquels le courant électrique traverse l'assemblage.....	03
I.2.3.2.Energie focalisée	04
I.2.3.2.1- Soudage par faisceau laser	04
I.2.3.2.2- Soudage par faisceau d'électrons	04
I.2.3.3- Energie thermo-chimique.....	05
I.2.3.3.1- Soudage aux gaz	05
I.2.3.3.2- Soudage aluminothermique	05
I.2.3.4- Energie electro-thermique (soudage à l'arc)	05
I.3- Examen économique	06
I.4.- Hygiène et sécurité.....	07
I.5- Soudage en bout par étincelage.....	09
I.5.1- Principe.....	09
I.5.2- Formation de la soudure	10
I.5.3- Paramètres du soudage par étincelage.....	12
I.5.3.1- Courant d'étincelage.....	13
I.5.3.2- Vitesse d'étincelage.....	14
I.5.3.3- Temps d'étincelage.....	15
I.5.3.4- Effort de refoulement.....	15
I.5.3.5- Préchauffage	15
I.5.4- Caractéristiques des assemblages en bout	15
I.5.4.1- Critères	15
I.5.4.2- Applications.....	16
I.5.4.3- Conditions de réglage	17
I.6- Soudage du rails	18
I.6.1- Procédé utilisé pour le soudage du rails	18
I.6.2- Comparaison technique entre la soudure électrique et aluminother-mique.....	18

**Chapitre II : Etude d'une machine à souder par étincelage forgeage
(type 355APT)**

II.1- Historique.....	19
II.2- Différentes versions et possibilités d'utilisation.....	19
II.3- Descriptif technique de la machine.....	21

II.3.1- D'un conteneur.....	21
II.3.2- Un portique (grue) hydraulique à bras télescopique.....	21
II.3.3- D'une tête de soudage.....	22
II.4- Caractéristiques techniques.....	22
II.5- Installation hydraulique de la machine.....	24
II.6- Circuit d'eau de refroidissement de la machine.....	26
II.7- Principe de fonctionnement.....	26
II.8- Soudage avec la machine.....	27
II.9- Enregistrement des paramètres de soudage.....	27
II.10- Tête de soudage.....	29
II.10.1-Description technique.....	29
II.10.2- L'installation hydraulique.....	30
II.10.2- L'installation hydraulique.....	32
II.10.4- Les transformateurs.....	33
II.10.5- Pupitre de commande.....	34
II.10.6- Déroulement des opérations de soudage.....	34
II.11-Notice d'utilisation.....	35
II.11.1- Préparation de la machine à l'utilisation.....	35
II.11.2- Maintenance techique.....	35
II.11.3- Protection de la machine.....	39
II.12-conclusion.....	40

Chapitre III : Partie expérimentale

III.1- Introduction.....	40
III.2- Préparation des éprouvettes.....	40
III.2.1.2- Forme et dimension de la partie calibrée (pour les aciers).....	41
III.2.2- Opérations d'usinage.....	42
III.3- Essai de traction.....	44
III.3.1- But.....	44
III.3.2- Principe.....	44
III.3.3- Réalisation des essais de traction	44
III.3.4- Résultats de l'essai de traction.....	45
III.3.4.1- Eprouvettes soudée.....	45
III.3.4.2- Eprouvettes non soudées.....	47
III.3.4.3- Interprétation et comparaison des résultats.....	47
III.4- Mesure de dureté brinell sur éprouvette prélevée d'un spécimen soudé	47
III.4.1- Définition.....	47
III.4.2- Conditions d'essais.....	47
III.4.3- Réalisation d'essai de dureté.....	47
III.4.4- Résultats d'essai de dureté.....	48
III.4.4.1- Eprouvettes soudées.....	48
III.4.4.2- Eprouvettes non soudées.....	48
III.4.4.3- Comparaison et interprétation.....	48
III.5- L'examen micrographique de la soudure	48
III.5.1- But.....	48

III.5.2- Préparation de l'échantillon pour l'étude métallographique.....	48
III.5.2.1- Polissage de l'échantillon.....	49
III.5.2.2- Attaque chimique.....	49
III.5.3- Réalisation l'examen métallographique.....	49
III.5.4- Résultats de l'étude micrographique (éprouvette soudée).....	49
III.5.4.1- Vues microscopiques.....	49
III.5.4.2- interprétation des résultats de l'analyse métallographique.....	53
III.6- Conclusion.....	53

CONCLUSION GENERALE

ANNEXES

Références bibliographiques

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Etant un mode d'assemblage métallurgique très utilisé industriellement et artisanalement, le soudage connaît un développement, sans cesse croissant, de procédés performants permettant de garantir une très bonne continuité de métal avec des propriétés mécaniques et métallurgiques très proches de celles du métal de base avec une très bonne reproductibilité.

Notre travail porte sur le soudage par étincelage que l'on peut classer parmi les procédés à vocation industrielle. Il est très économique, en particulier pour le soudage des pièces volumineuses, et peut être facilement automatisé vu que les deux parties de l'assemblage sont maintenues par des pinces appropriées.

Initialement, notre travail consistait à établir une gamme de diagnostic des déformations, de réparation et de réalisation de l'arbre principal de la machine à souder par étincelage de l'entreprise INFRAFER qui était importé à coup de devises et, de faire une comparaison économique. Mais entre la proposition du sujet et son affectation, un temps très important s'est écoulé ce qui a fait que, seules les étapes de diagnostic des déformations et de réparation ont été accomplies. L'entreprise a procédé entre-temps à la réparation de l'arbre et à son montage, chose qui nous a empêché de poursuivre le travail comme il a été prévu au départ et, de nous orienter plus vers la caractérisation de la soudure.

Notre nouveau travail consiste donc à étudier expérimentalement, par des essais de traction et de dureté ainsi qu'une étude métallographique, un cordon de soudure exécuté par étincelage au niveau d'INFRAFER sur deux abouts de rail. Nous commencerons pour cela par énumérer les principaux procédés de soudage avant de présenter la machine à souder par étincelage-forgeage sur laquelle l'étude a été réalisée.

CHAPITRE II
Etude d'une machine
à souder par
étincelage-forgeage
(type K.355.APT)

Chapitre II : Etude d'une machine à souder par étincelage-forgeage (type 355APT)

II.1- Historique :

La méthode de soudage électrique des rails par étincelage-forgeage a été mise en application sur les réseaux ferroviaires vers 1930. Elle était essentiellement utilisée en atelier, de façon stationnaire.

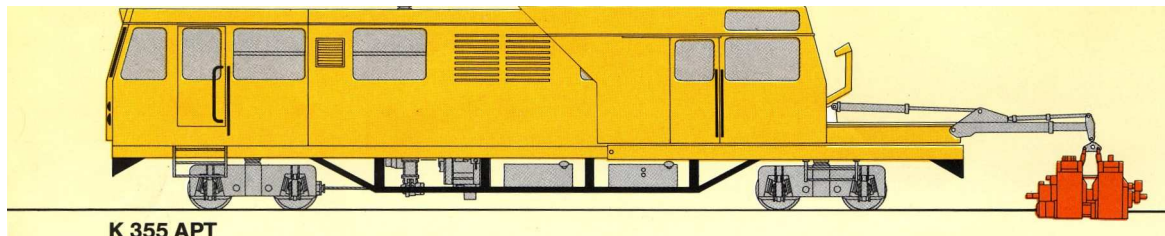
A la suite d'étude et d'essais qui ont porté sur plusieurs années, les chercheurs et techniciens de l'institut « J.O. Paton » de Kiev en U.R.S.S sont parvenus à développer une tête mobile pour le soudage électrique par étincelage-forgeage.

C'est en 1973 que la Société Plasser & Theurer a construit la première voiture automotrice de soudage par étincelage-forgeage type K 355 PT équipée de cette tête .Cette voiture automotrice est aujourd'hui régulièrement appliquée dans de nombreux pays.

II.2- Différentes versions et possibilités d'utilisation [9] :

Les machines de soudage des rails Plasser & Theurer existent en différentes versions et peuvent être combinées avec des machines pour la pose et l'entretien de voies ferrées:

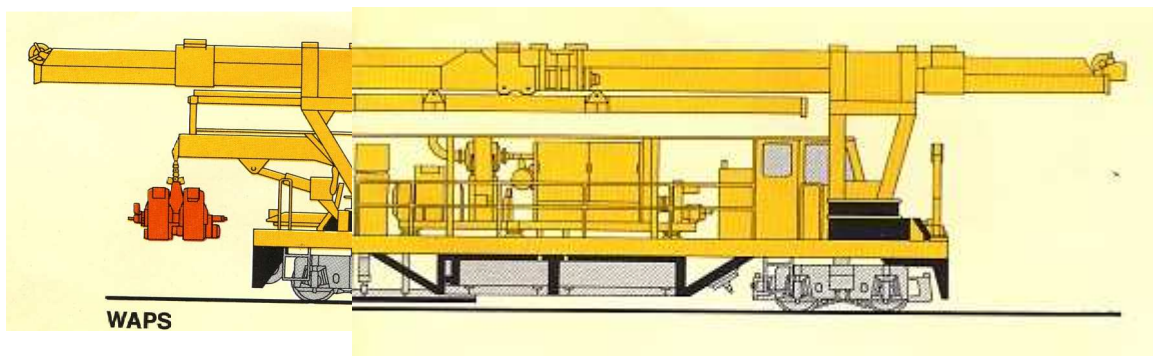
- Machine automotrice de soudage K 355 APT



K 355 APT

Figure II.1 : Machine automotrice de soudage type K 355 APT

- Tête de soudage intégrée à un wagon de pose de voie (WAPS)



WAPS

Figure II.2 : Tête de soudage intégrée à un wagon de pose de voie (WAPS)

- Machine automotrice de soudage rail - route - K 355 APT-LKW - comportant un train de roulement ferroviaire et un train de roulement routier

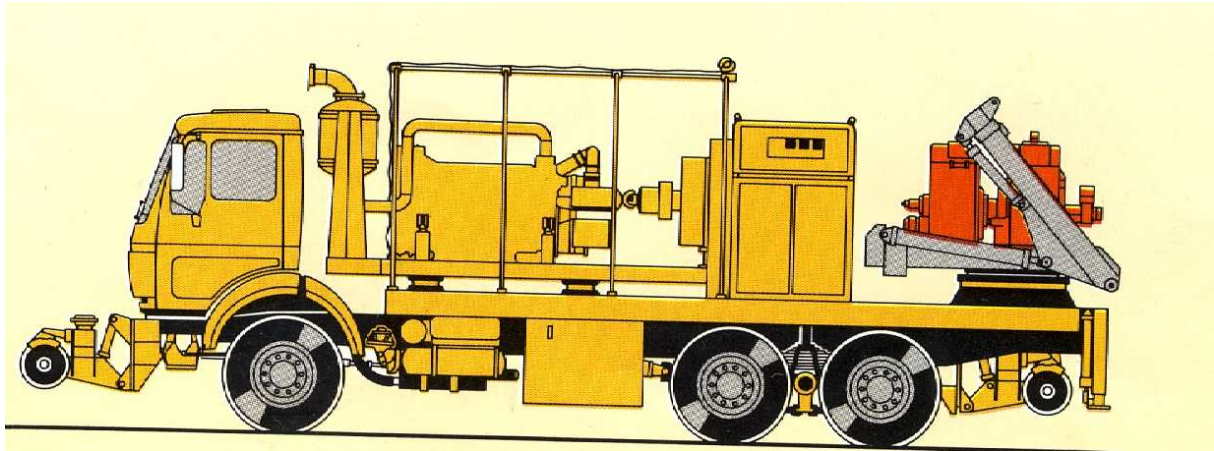


Figure II.3 : Machine automotrice de soudage rail - route - K 355 APT - LKW -

- Machine de soudage sur camion se déplaçant uniquement sur route
- Tête de soudage stationnaire

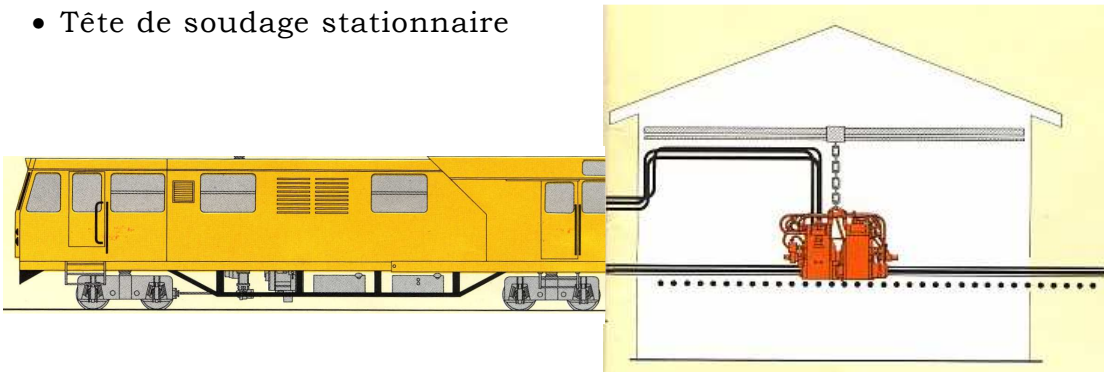


Figure II.4 : Machine K 355 APT (en unité stationnaire)

- Machine automotrice conteneur de type K 355 APT (notre machine).



Figure II.5 : Machine automotrice conteneur K 355 APT

Quelque soit la version de la machine, les principes de fonctionnement et de soudage sont identiques.

Avantage de la soudure en voie :

Elle offre de nombreuses possibilités d'utilisation, à savoir :

- Soudage des rails en voie.
- Soudage des rails terminaux, création de joints isolants, réparation de soudures, ...etc.
- Soudage des rails préalablement déposés devant les trains de renouvellement.
- Soudage des rails en dépôt à proximité des chantiers.
- Soudage des rails sur éléments de voie prémontés.
- Equipement d'un atelier de soudage stationnaire.

II.3- Descriptif technique de la machine :

La soudeuse K.355.APT est constituée d'un châssis sur conteneur normalisé sur lequel sont montés les organes annexes. Elle peut être installée aussi bien sur une semi-remorque que sur un wagon plat.

Elle est composée -Fig.III.6- :

II.3.1- D'un conteneur abritant :

- Le moteur thermique ;
- La génératrice de courant triphasé ;
- L'armoire de commande de la génératrice ;
- L'armoire de commande de courant force ;
- Le système hydraulique ;
- L'enregistreur à trois canaux.

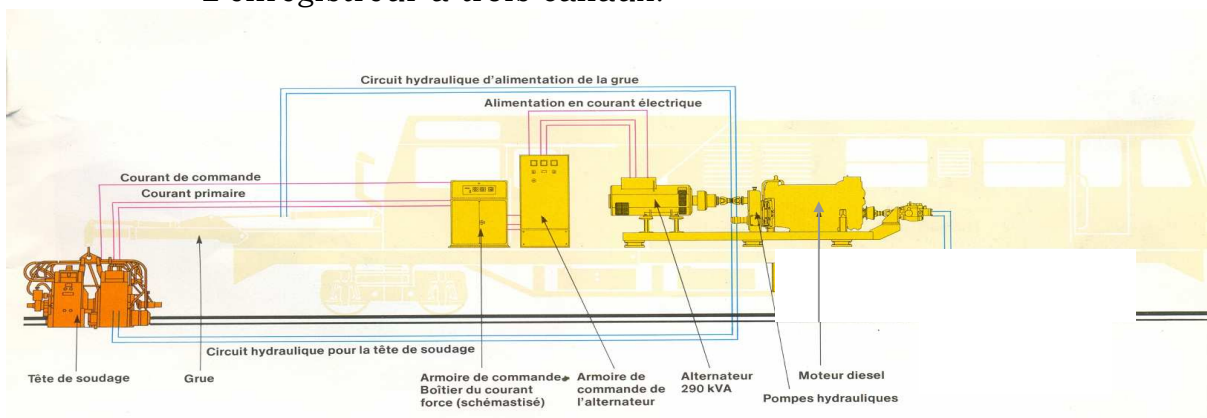


Figure II.6 : Equipements de la machine

II.3.2- Un portique (grue) hydraulique à bras télescopique : son cinématique a représenté dans la figure III.7 comme suit :

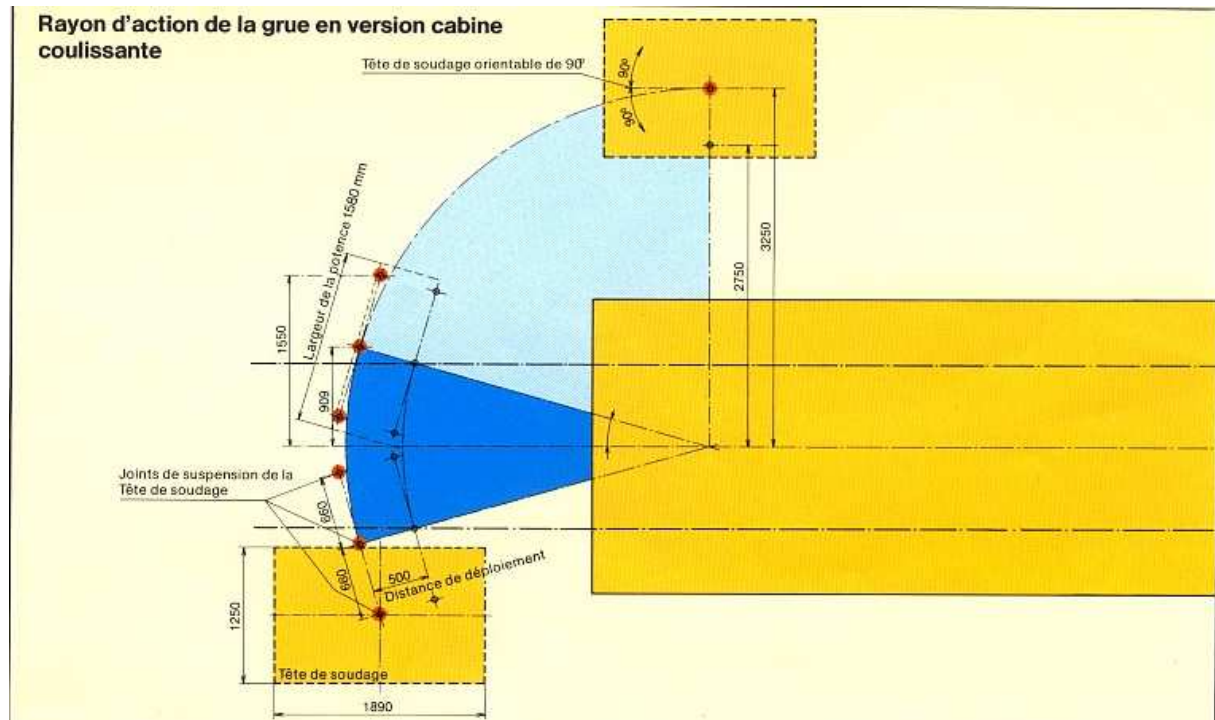


Figure II.7 : Grue hydraulique à bras télescopique.

II.3.3- D'une tête de soudage : elle est manutentionnée par le portique.

II.4- Caractéristiques techniques [10]:

II.4.1- Conteneur :

Longueur	9125 mm
Largeur	2438 mm
Hauteur	2591 mm
Poids total	env. 24000 Kg

II.4.2- Moteur thermique :

Moteur diesel 12 cylindres à refroidissement par air.

Constructeur : Klöckner - Humboldt - Deutz.

Type : BF 12L 513 C.

Puissance suivant DIN 6270 : 350 kW à 2000 tr/min.

Consommation : 168 gr./CH/h. - 229 gr./kWh

II.4.3- Portique :

Portique hydraulique télescopique à deux bras servant à la manutention de la tête de soudage. Il est commandé électriquement par télécommande et soupapes magnétiques.

Type : K 355 WMG.

Capacité utile : 9,5t.

Force à 3,25 m : 3t.

Orientation : 2 x 90°.

Pression hydraulique : 140 bars.

Possibilité d'utilisation du portique

Trois mouvements sont possibles :

- a) La montée-descente du bras extérieur.
- b) La rentrée-sortie de la flèche.
- c) L'orientation du cadre supérieur de 90° de part et d'autre de la position médiane.

II.4.4- Tête de soudage :

Dimension :	Longueur	1 810 mm
	Largeur	1 050 mm
	Hauteur	1 140 mm
	Poids	2 600 kg
Tension		380 V
Puissance nominale		190 kVA
Fréquence		50 Hz
Durée de mise en service de la tension de soudage		50%
Intensité nominale au primaire		395 A
Courant max. secondaire		63 kA
Courant nominal permanent ou secondaire		18 kA +3/-2
Tension nominale secondaire		6,3 V
Nombre de phases du secteur		2
Nombre de phases du circuit auxiliaire		3
Section maximale pouvant être soudée		10000 mm ²
Action des dispositifs de maintien et de refoulement des rails		hydraulique
Force nominale de refoulement pour une pression de 100 kg/cm ²		450 kN+/-36
Distance entre les mâchoires :		
	rapprochées :	99 mm +/-2
	éloignées :	69 mm +/-2
Résistance de court-circuit		jusqu'à 100 Ω
Capacité d'absorption par court-circuit		jusqu'à 600 Ω
Courant primaire de court-circuit maximal, au minimum		1,1 kA
Courant magnétisant du transformateur de soudage		jusqu'à 60 A

Puissance absorbée par le circuit auxiliaire de courant triphasé	jusqu'à 40 kVA
Résistance en courant continu du circuit secondaire de la soudeuse	jusqu'à 20 Ω
Rapport de transformation du transformateur de soudage	60
Ligne de soudure après ébavurage	0 – 30 mm
Consommation d'eau du circuit de refroidissement pour une pression de 1,5 bar	20 l/min
Débit de la pompe	90 l/min
Pression max. du système hydraulique	100 kg/cm ²
Force nominale de tension pour une pression hydraulique de 100 kg /cm ²	125t +/-10
Course max. de forgeage	7,5 – 15 mm
Vitesse de fonte (étincelage) : - vitesse minimale	jusqu'à 0,22mm/s
	+/- 0,02
- vitesse maximale	jusqu'à 1mm/s
Vitesse maximale de refoulement	20 mm/s
Poids de l'armoire de commande	150 kg
Poids de l'armoire électrique	env. 550 kg
Poids des organes et matériel divers	env. 235 kg

II.4.5- Circuit d'éclairage :

24V courant continu.

Alternateur 24V x 120A avec régulateur et 2 batteries 12V à 200A montées en série.

Eclairage de la zone de travail par projecteurs orientables pour les travaux de nuit ou en tunnel.

II.5- Installation hydraulique de la machine :

La figure **II.8** représente le circuit hydraulique de la machine.

1,2 : pompe double	19 : bloc robinet
3 : moteur	20 : soupape de limite de pression
4,5 : vérins	21 : soupape
6,7 : distributeur	22,23 : soupape anti-retour double
8 : réduction	24 : soupape à thermostat
10,11 : soupape	25 : radiateur
12 : manomètre	26 : filtre
13,14 : soupape	27 : réservoir hydraulique
15 : vérin	28 : bloc de distributeur
16 : flaque de base	29 : bloc d'arrêt
17 : manomètre	30 : vérin
18 : robinet	31 : soupape

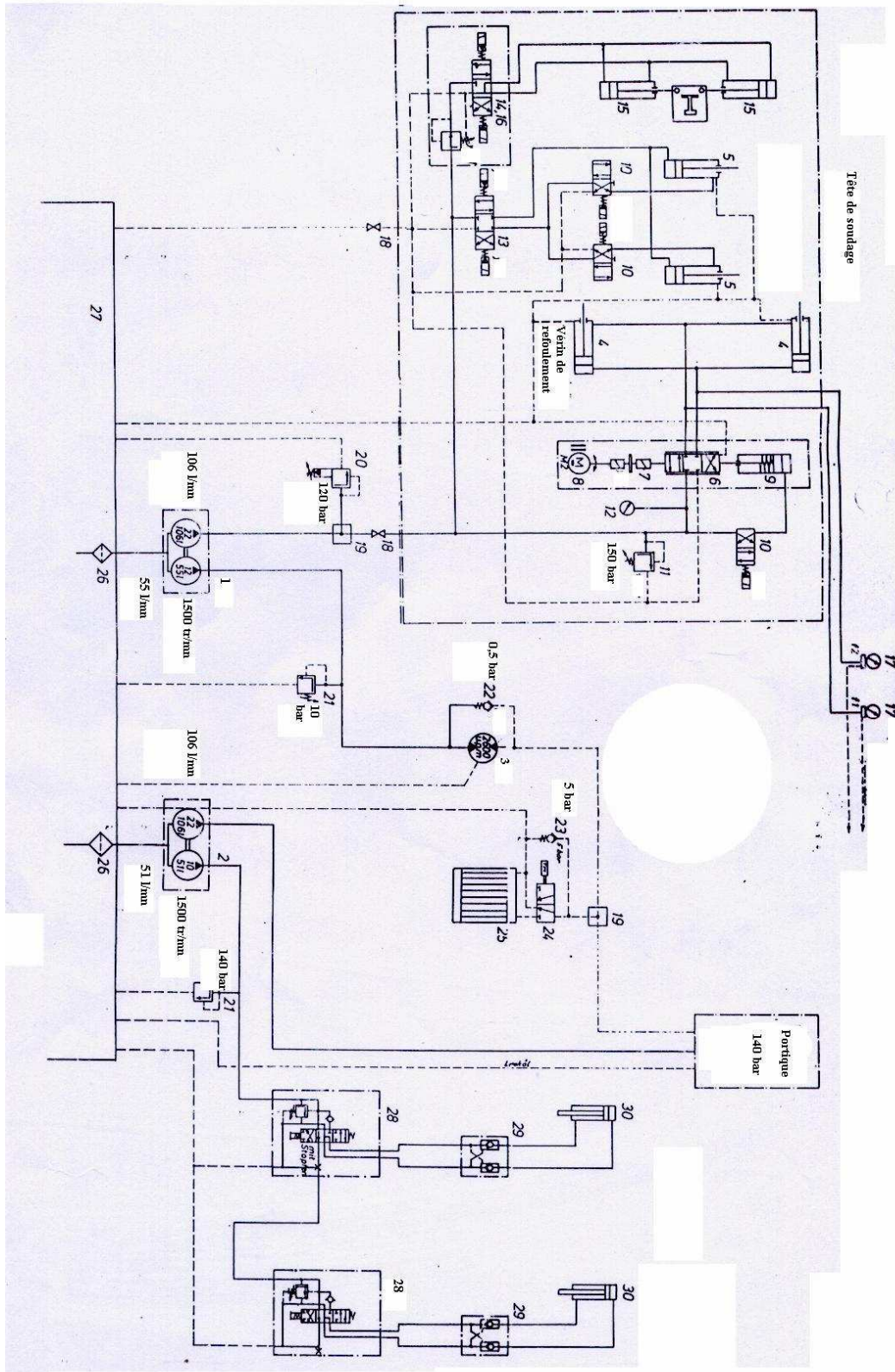


Figure II.8 : Le circuit hydraulique de la machine

II.6- Circuit d'eau de refroidissement de la machine :

- | | |
|--|----------------------|
| 1 : réservoir (50l) | 6 : robinet |
| 2 : pompe à eau | 7 : monomètre |
| 3 : échangeur calorifique (la température de fonctionnement est réglé entre 5° et 20°) | 8 : tubes |
| 4,5 : sélecteur de circuit | 9 : bloc robinet |
| | 10 : tête de soudage |

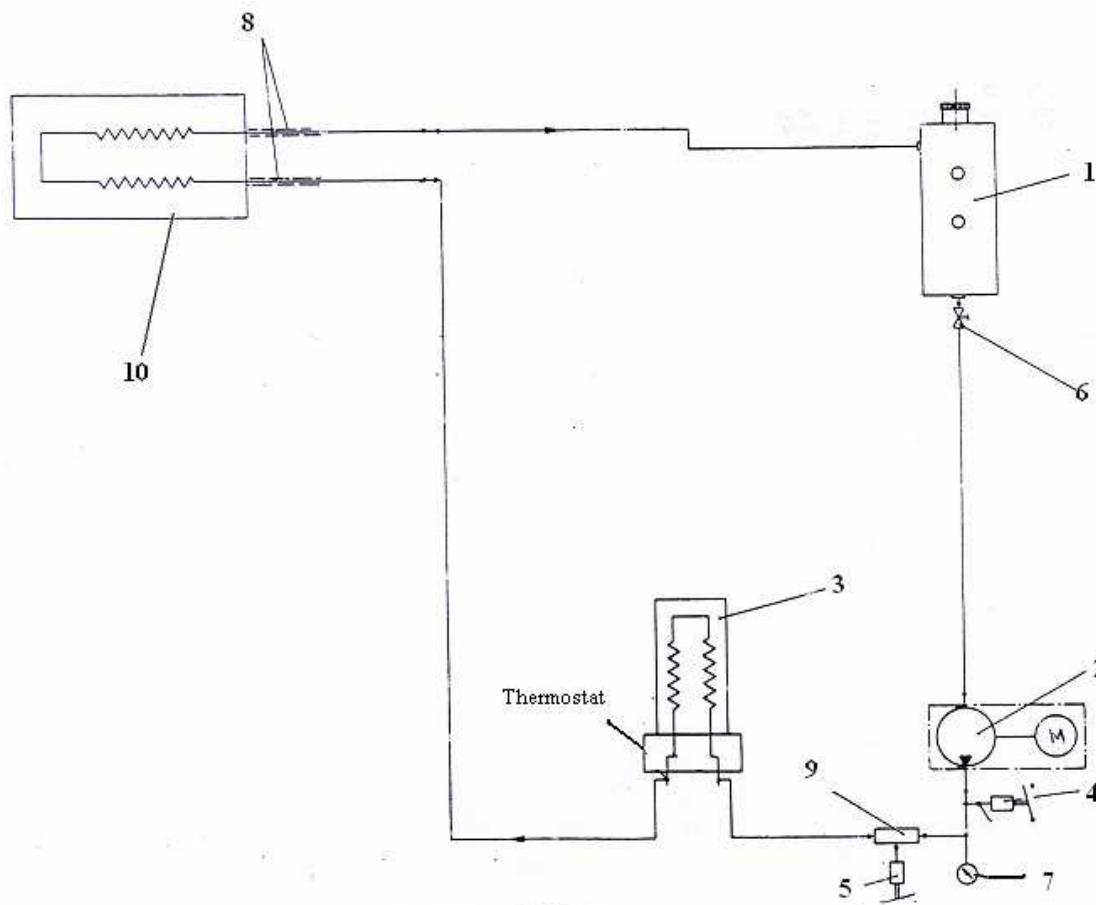


Figure III.9 : Circuit d'eau de refroidissement de la machine

III.7- Principe de fonctionnement :

Comme montre la figure III. , un moteur thermique entraîne la génératrice de courant triphasé et deux pompes hydrauliques alimentant les circuits de la tête de soudage et de la grue

Les paramètres électriques (tension, intensité et fréquence) de la génératrice sont contrôlés à l'aide d'une armoire de commande à laquelle est raccordée l'armoire de commande du courant force alimentant (courant primaire) la tête de soudage. Cette armoire renferme les organes de commande et les appareils de mesure de la tête.

II.8- Soudage avec la machine :

- 1- Démarrer le moteur en respectant les consignes.
- 2- Lorsque le moteur parvient à sa température de fonctionnement, augmenter sa vitesse de rotation à 2000tr/min.
- 3- Appuyer sur bouton « Marche » se trouvant sur l'armoire de commande du générateur.
- 4- Contrôler sur l'armoire du générateur que l'aiguille indique 380V.
- 5- Contrôler que la fréquence indiquée se situe entre 50-52Hz.
- 6- Placer l'interrupteur des 2 boîtiers de commande de la tête de soudage en position « Marche ».
- 7- Mettre en service le circuit électrique de commande du portique hydraulique.
- 8- Positionner la tête de soudage sur les rails à souder à l'aide du portique et de la télécommande.
- 9- Mettre la pompe à eau ou le circuit de refroidissement en service. Surveiller le témoin de contrôle jaune de la température et de la pression de l'eau située sur le portique.
- 10- Effectuer la soudure suivant les instructions d'utilisation (voir §II.10.4)
- 11- Contrôler de fuite de courant sur la machine.

Le déclenchement du gyrophare rouge situé sur le portique signale une perte de courant d'une intensité minimale de 0,02A. Cette alarme nécessite l'arrêt immédiat de la machine et la recherche de l'origine de cette perte de courant.

II.9- Enregistrement des paramètres de soudage :

La voiture de soudage est équipée d'un dispositif d'enregistrement à 3 canaux (dans notre machine est de type EL-T7025.00 SM) qui fournit les paramètres suivants : intensité de soudage, force de refoulement et déplacement relatif des 2 abouts de rails –Fig.II.9-.

Le temps de soudage est déterminé par la longueur du graphique

Pendant le processus de soudage varie selon trois phases :

Phase 1 : chauffage - forte intensité (instable)

Phase 2 : fusion - intensité fortement réduite (stable)

Phase 3 : refoulement - forte intensité temporaire (progressive)

L'enregistreur ne répond pas à la pression hydraulique, mais à la force résultante avec laquelle les rails sont tirés ou refoulés.

Le diagramme du déplacement indique le mouvement relatif des deux demi-têtes de soudage. Il permet de contrôler la fusion, le refoulement, la consommation de métal et le cycle d'ébavurage.

Ce dispositif d'enregistrement permet d'apprécier, à partir des critères de base fournis par le graphique, la qualité de la soudure effectuée.

Cette appréciation peut se faire directement sur le chantier, à la réception des travaux ou par l'intermédiaire d'une exploitation centralisée. Les graphiques peuvent être conservés pour être consultés ultérieurement.

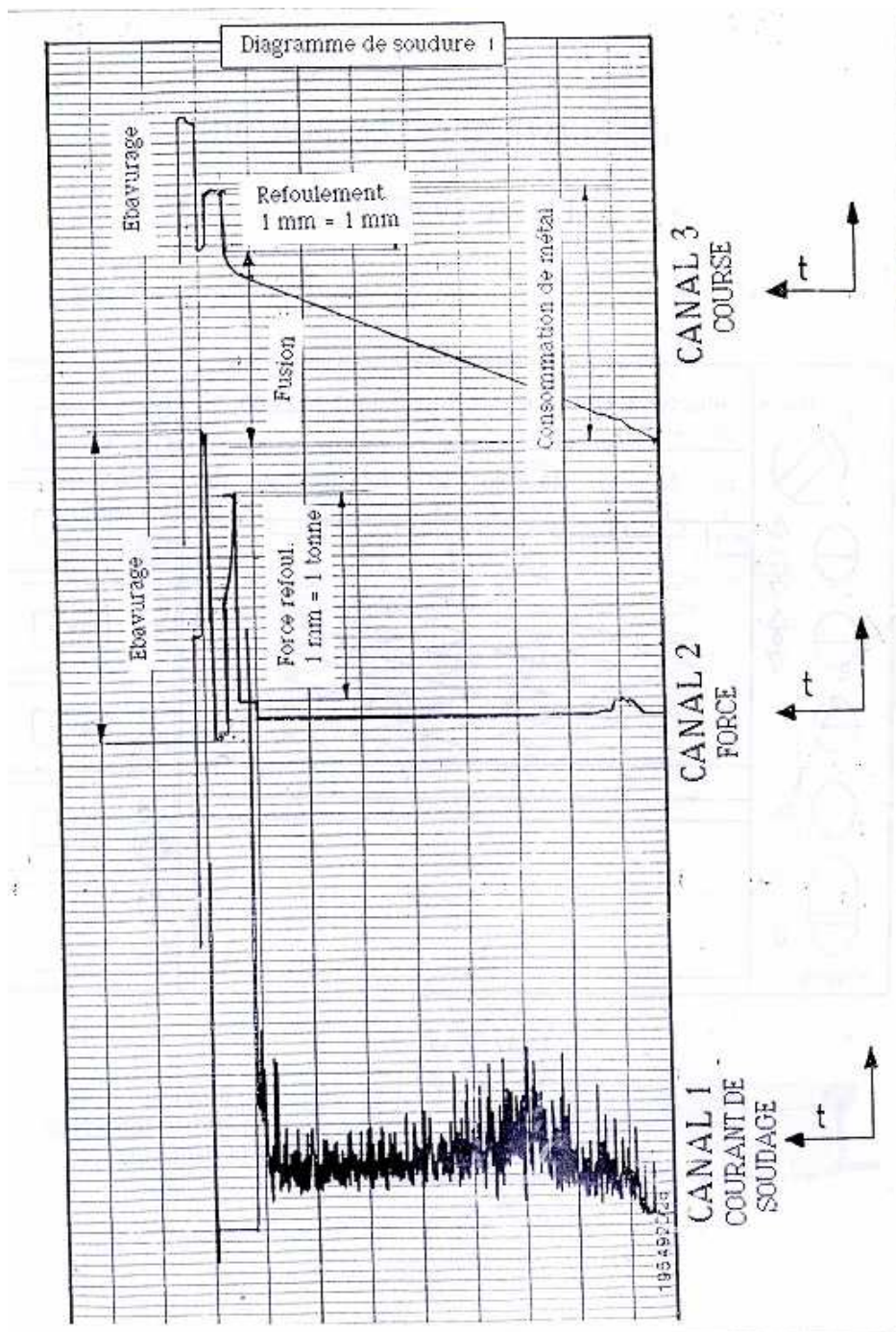


Figure II.9 : Diagramme d'une soudure

II.10- Tête de soudage :

II.10.1-Description technique :

La tête de soudage se compose d'un système mécanique à leviers et de deux demi-têtes comprenant chacune deux (2) demi-parties. Les demi-parties de chaque demi-tête sont articulées entre elles afin de saisir et de comprimer un about de rail. Les demi-têtes se déplacent longitudinalement l'une par rapport à l'autre pour effectuer le soudage des 2 abouts de rails.

La commande des mouvements de la tête de soudage est hydraulique.

Le circuit secondaire du système électrique est intégré dans la tête, notamment le transformateur qui génère le courant de soudage basse tension à intensité élevée –**Fig.II.11**–.

Compte tenu de la chaleur dégagée par la transformation du courant et le soudage proprement dit, les transformateurs, les mâchoires et les vérins de refoulement sont efficacement refroidis par un système de refroidissement.

La tête de soudage est complétée par un pupitre pour la commande du processus de soudage et le contrôle des fonctions importantes.

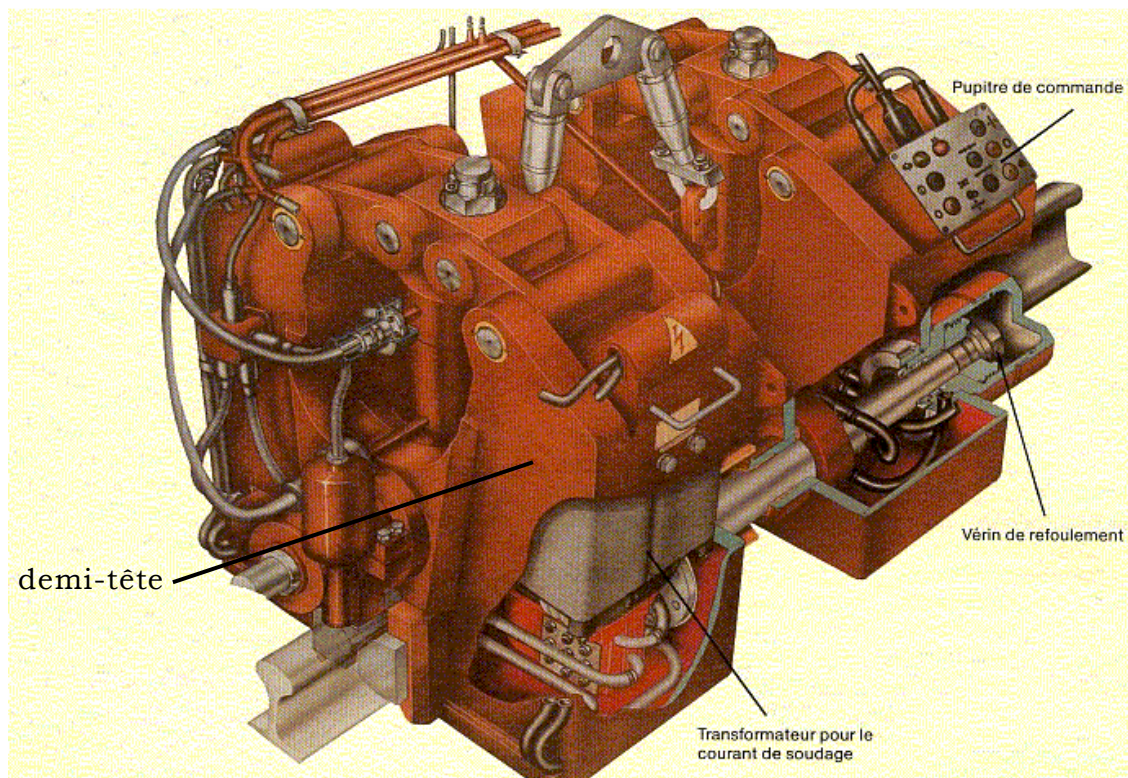


Figure II.10 : Tête de soudage

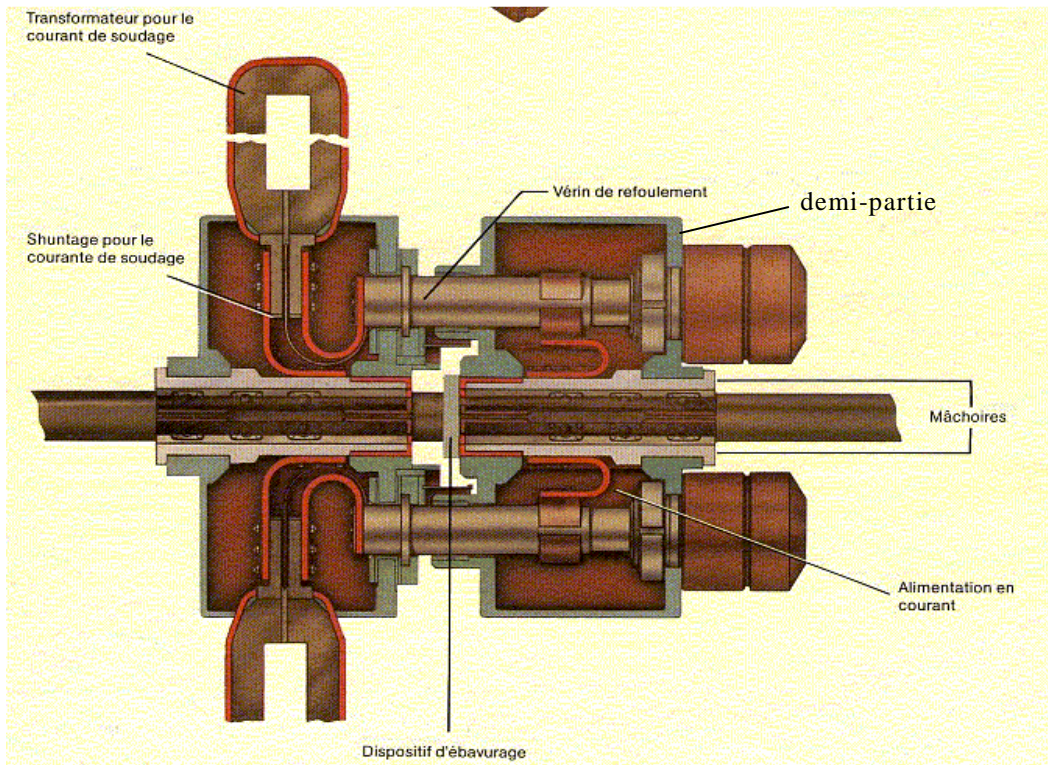


Figure II.11 : Tête de soudage (vue dessous)

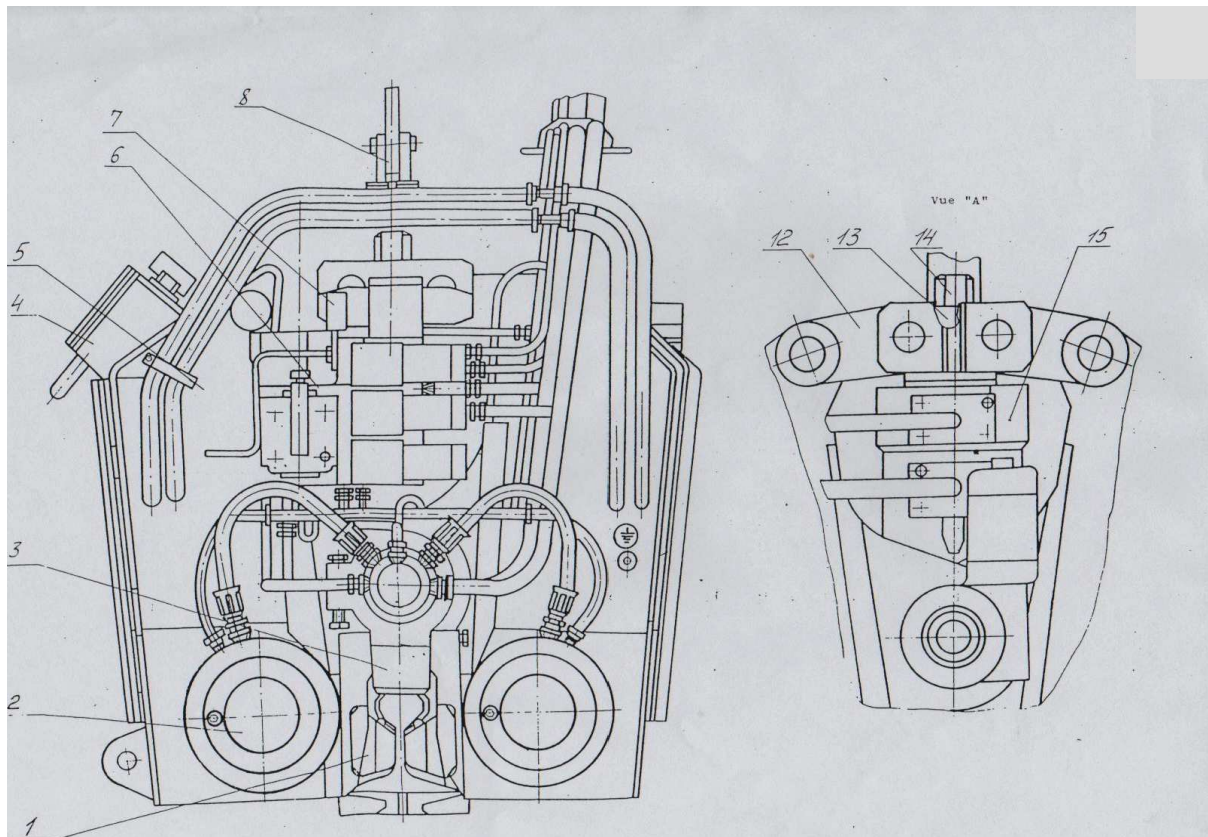


Figure II.12.1 : Tête de soudage (vue d'ensemble)

- 1 Mâchoire
- 2 Vérin de refoulement
- 3 Butée
- 4 Pupitre de commande
- 5 Support de mâchoires
- 6 Bloc hydraulique
- 7 Manomètre
- 8 Système de suspension
- 9 Douille
- 10 Transformateur de soudage
- 11 Réglette de bornes
- 12 Fixation
- 13 Traverse
- 14 Tige de vérin
- 15 Entraînement symétrique
- 16 Vérin de serrage
- 17 Système séquentiel hydraulique
- 18 Axe central
- 19 Système d'ébavurage
- 20 Tige de vérin
- 21 Tendeur
- 22 Bague

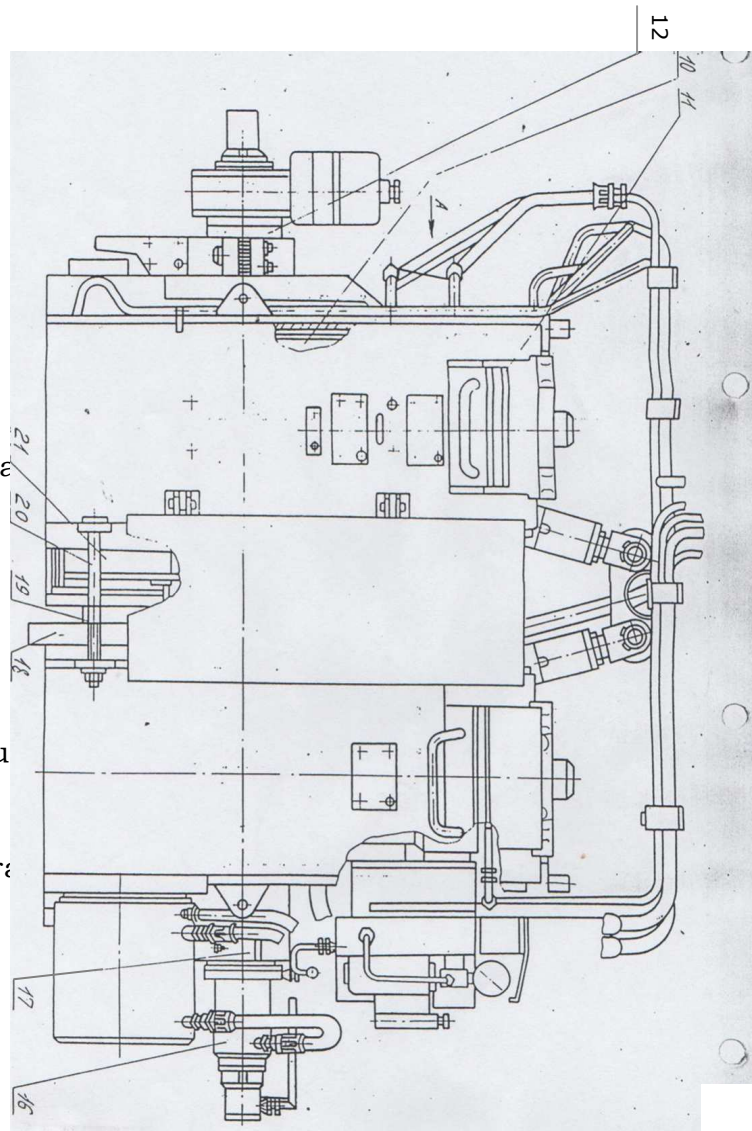


Figure II.12.2 : Tête de soudage (vue d'ensemble)

II.10.2- L'installation hydraulique :

Le circuit hydraulique de la tête de soudage se compose de deux vérins (un (1) par demi-tête) pour la commande des mâchoires, de deux vérins pour le déplacement longitudinal des rails (refoulement) lors du forgeage, du régulateur séquentiel et de la pompe d'alimentation –**Fig.II.13**-.

Le mouvement relatif des deux demi-têtes de soudage a pour effet de rapprocher les deux bouts des rails à souder et de provoquer un arc électrique dont l'intensité produit la fusion de métal.

Le déplacement longitudinal des bouts de rails est commandé par un système hydraulique séquentiel composé essentiellement d'un distributeur,

d'une soupape magnétique, d'un moteur électrique M2, d'un engrenage à vis sans fin et d'une broche à vis avec écrou.

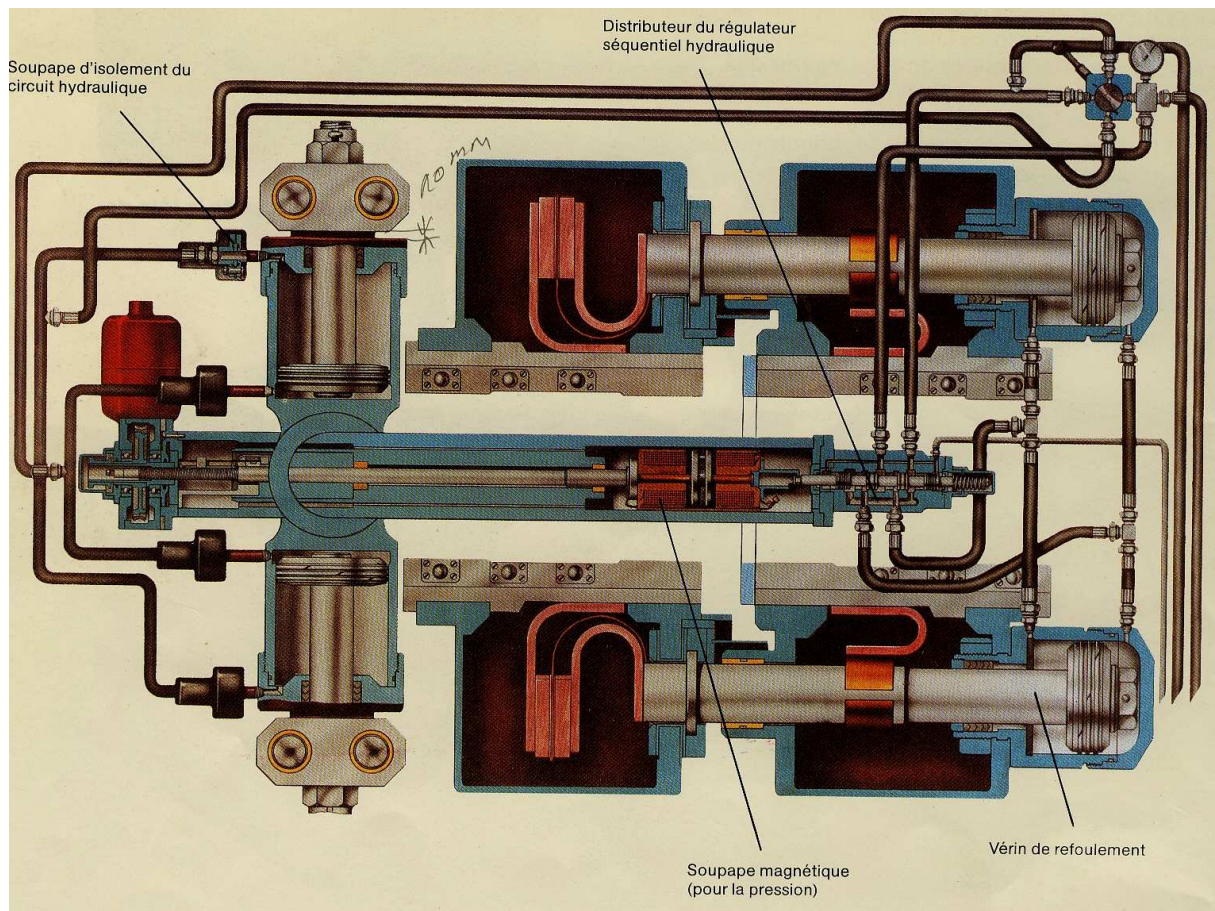


Figure II.13 : Circuit hydraulique de la tête de soudage

II.10.3- Circuit de refroidissement :

Certaines parties de la tête de soudage comme les mâchoires en cuivre - **Fig.II.14** -, les transformateurs de courant de soudure et les vérins de refoulement (tige de vérins) sont, pendant l'action de soudage, portées à des températures élevées et doivent alors refroidies par le circuit de refroidissement par eau et les radiateurs. Le circuit est constitué de tubes et de flexibles.

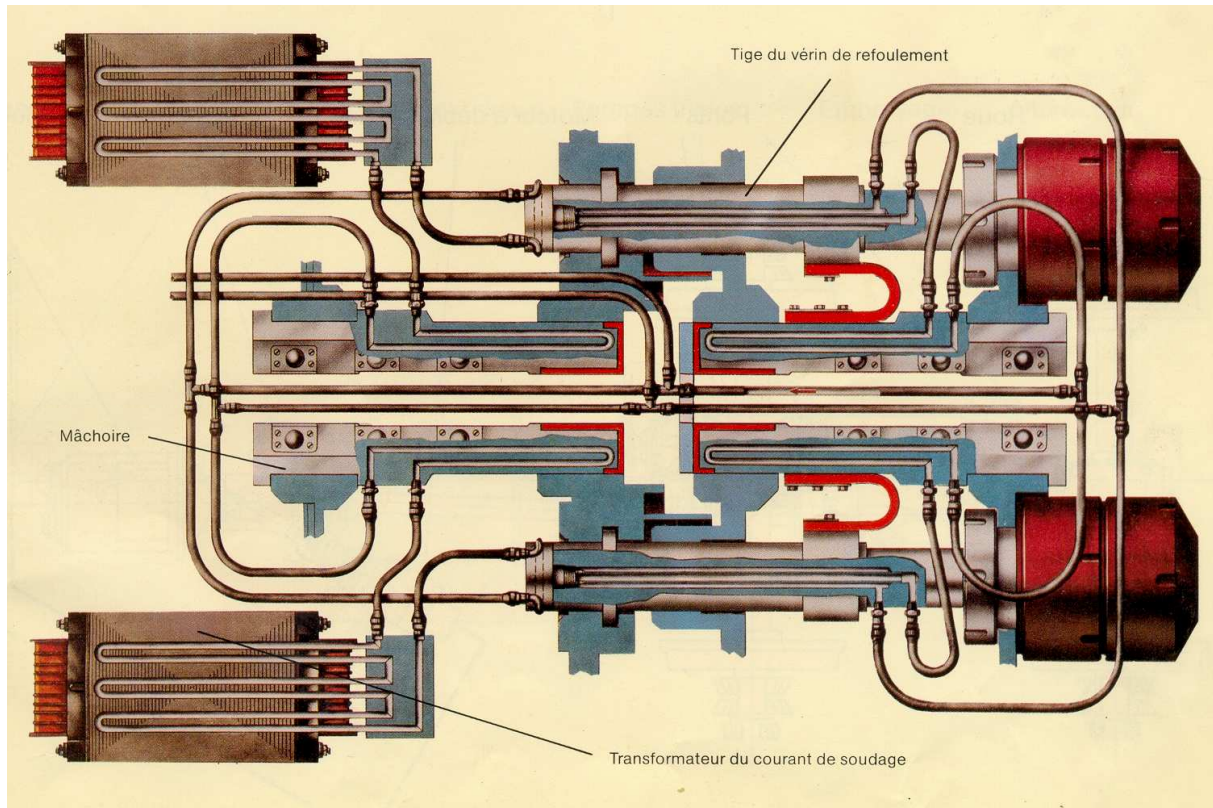


Figure II.14 : Circuit de refroidissement de la tête de soudage

II.10.4- Les transformateurs :

La tête de soudage comporte deux transformateurs montés en parallèle
-Fig.II.11-.

Chacun des transformateurs présente les caractéristiques suivantes :

- | | |
|--------------------------------|--------|
| 1) Tension nominale primaire | 380 V |
| 2) Puissance | 85 kVA |
| 3) Tension nominale secondaire | 6,3 V |
| 4) Rapport de transformation | 60 |

Les transformateurs sont logés dans la partie creuse de la paire de mâchoires gauche.

Les extrémités de l'enroulement primaire de chaque transformateur sont reliées aux bornes des mâchoires. Les enroulements primaires des deux transformateurs sont reliés en parallèle avec un accord obligatoire des phases des tensions secondaires de ceux-ci.

Les mâchoires de serrage servent en même temps de conducteurs de courant.

Le courant est transmis à la mâchoire gauche, depuis les bornes de l'enroulement secondaire du transformateur, par l'intermédiaire de pontages flexibles.

Les mâchoires sont fixées sur leurs supports par des boulons.

II.10.5- Pupitre de commande :

Le pupitre rassemble tous les éléments de commande et de contrôle des différents organes de la tête de soudage : la mise en marche et l'arrêt de soudage, rapprochement et éloignement des mâchoires, l'ouverture et la fermeture des mâchoires pour le serrage et de desserrage latéral des rails, l'ouverture et la fermeture des couteaux d'ébavurage

Le pupitre de commande comporte aussi :

- Un dispositif d'interruption de l'alimentation électrique en cas de rupture de la mise à la terre de la tête de soudage ou de l'armoire électrique. Le signal de cette protection est donné par une lampe-témoin.
- Bouton interrupteur pour arrêt d'urgence. Conformément aux prescriptions relatives à la protection du travail, cet interrupteur est constitué par un bouton fortement dimensionné. Il porte la mention « Stop ». Il est également dénommé « Arrêt d'urgence ».
- un symbole lumineux indique soit une température anormalement élevée du moteur, soit une trop faible pression de l'huile moteur. Dès l'apparition du voyant, il y a lieu d'arrêter immédiatement le moteur.

II.10.6- Déroulement des opérations de soudage :

- Préhension des abouts de rails par les mâchoires et alignement simultané de ceux-ci. Enclenchement du processus automatique de soudage.
- Pendant le soudage, la tension et la vitesse de fusion varient suivant une programmation pré-établie.
- La vitesse de la fusion est de 0,25 mm/sec. Elle augmente environ 10 secondes avant le refoulement afin d'atteindre une vitesse finale comprise entre 0,9 et 1mm/sec.
- Pendant cette phase, il se produit un échauffement progressif qui a une influence fondamentale sur la qualité de soudure au cours de laquelle les oxydes sont expulsés.
- Lorsque la densité du courant dans les rails dépasse 2 A/mm², la vitesse du moteur de commande du système séquentiel hydraulique est ralentie ou même inversée.
- Dès que les abouts de rails ont atteint la température de soudage pré-programmée, la soupape magnétique du système séquentiel commande le dispositif de refoulement pour libérer une valeur pré-établie (de 7,5 jusqu'à 15mm) et procéder dans ces conditions au forgeage des 2 abouts de rails.
- Les deux abouts de rails sont pressés l'un contre l'autre par les vérins hydrauliques de la tête de soudage.
- La force de compression longitudinale des rails peut atteindre 450KN (45t).
- La pression de refoulement proprement dite est de l'ordre de 30N/mm².
- Après ouverture des mâchoires d'une demi-tête, les bourrelets de la soudure sont éliminés par les couteaux d'ébavurage grâce au déplacement relatif des 2 demi-têtes –**Fig.II.15**–.
- Le cycle de soudage est alors totalement terminé, le rail est libéré et la machine peut se déplacer jusqu'au prochain joint.

La durée de la soudure varie de 130 à 180 secondes suivant le profil de rail (dans notre cas, la durée de la soudure est 180 secondes).

Compte tenu du temps nécessaire à l'avancement de la machine de joint à joint et des opérations annexes de réglage des rails, le rendement nominal de travail, peut atteindre 8 à 10 soudures à l'heure.

Ebavurage :

La tête de soudage est équipée d'un système d'ébavurage pour l'élimination du cordon de soudure grâce au déplacement relatif des deux (2) demi-têtes.

Le tranchant des couteaux est rechargé en acier spécial à haute résistance augmentant la durée de leur utilisation.

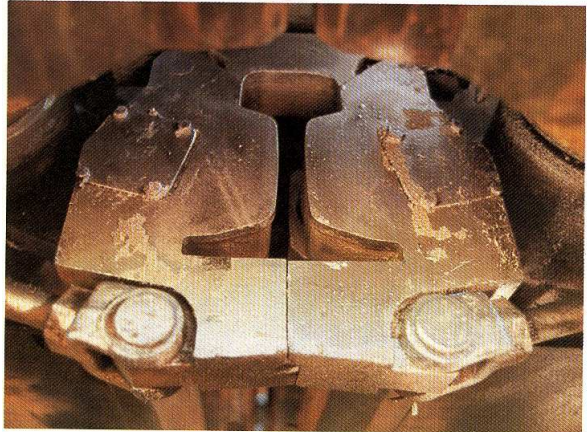
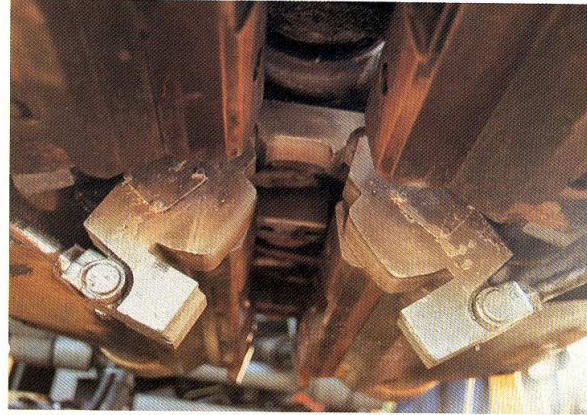
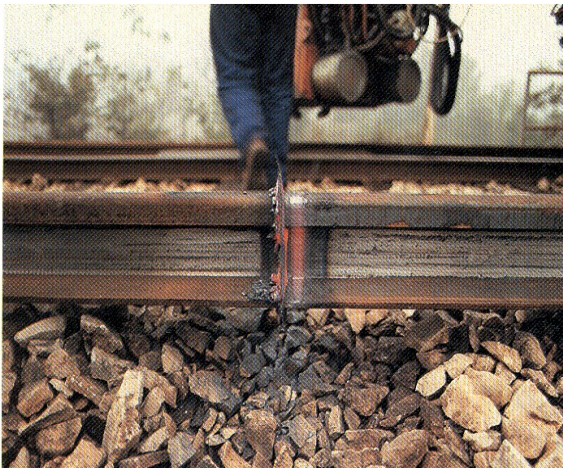


Figure II.15: Couteaux d'ébavurage.

Remarques importantes :

- 1) *pour assurer une parfaite conductibilité électrique entre les rails et les mâchoires de soudage, l'âme du rail, au niveau des abouts, doit-être meulée de chaque côté, sur une longueur correspondant à la portée des mâchoires.*
- 2) *le déroulement de l'opération de soudage est programmé en fonction de la qualité et de la dureté de l'acier à rail ainsi que de sa section, c'est pourquoi aucune erreur de commande ne peut intervenir. De plus il est à noter que les conditions atmosphériques n'ont aucune influence sur la qualité de la soudure.*
- 3) *A fin que les rails se déplacent longitudinalement devant la machine, il est indispensable d'enlever les boulons. Dans le cas de soudage des rails de grand longueur, des galettes lève-rails sont à disposer sous le patin, pour réduire au maximum la résistance au frottement (cette mesure n'est pas nécessaire pour les rails courts).*

II.11- Notice d'utilisation :**II.11.1- Préparation de la machine à l'utilisation :**

Avant la mise en service de la soudeuse, contrôler :

- 1) Le niveau du réservoir à huile hydraulique, qui ne doit pas être inférieur au niveau minimum prescrit.
- 2) Le plein du circuit de refroidissement. Le fonctionnement de la machine est autorisé sans refroidissement à partir d'une température inférieure à -5°C .
- 3) La présence de tous les fusibles dans les armoires électriques.
- 4) Le bon état des disjoncteurs.
- 5) Le réglage du manipulateur.
- 6) Le temps de maintien du relais de refoulement sous tension.
- 7) Le niveau de l'augmentation de la vitesse de l'étincelage.

Remarque : Le soudage de rails de profil présentant d'autres dimensions nécessite l'adaptation de mâchoires et de couteaux d'ébavurage correspondant.

II.11.2- Maintenance technique :

La maintenance de la machine doit être assurée en tenant compte des consignes suivantes :

- 1) Contrôler le niveau d'huile hydraulique ainsi que la pression du circuit hydraulique. Le niveau d'huile ne doit pas être inférieur à la limite inférieure de l'indicateur de niveau.
- 2) S'assurer que les abouts et les sections des rails à souder sont parfaitement nettoyés.
- 3) Tout bourrelet de soudure qui se trouverait sur la zone de portée des mâchoires et pourrait gêner leur fermeture, doit être meulé.
- 4) Les mâchoires, qui conduisent le courant de soudage, seront nettoyées à la brosse métallique toutes les 5 à 6 soudures.
- 5) La course du refoulement se règle à l'aide d'une clé spéciale fournie avec la machine.
- 6) Le graissage de la machine doit être effectué régulièrement, conformément au plan de graissage (voir Fig. 13).
- 7) Contrôler régulièrement (à la main) le bon état du circuit de refroidissement des transformateurs, du système de refroidissement et des tiges.

8) Toutes les 180-200 soudures, vérifier l'état des isolations et des protections contre les étincelles. Toutes les parties sont à nettoyer soigneusement.

L'entretien de la machine doit être réalisé suivant trois périodicités :

- le contrôle et l'entretien journalier
- le contrôle et l'entretien hebdomadaire
- le contrôle et l'entretien mensuel

Le contrôle et l'entretien journalier sont effectués par le soudeur et son aide. Ces opérations qui réclament une durée d'environ 10-15 minutes comportent :

- 1) Le contrôle visuel de la machine, de l'armoire de commande, de l'armoire électrique, du système hydraulique, des câbles d'arrivée du courant et de commande.
- 2) Le contrôle du circuit de refroidissement.
- 3) Le nettoyage des colonnes de guidage et de l'arbre.
- 4) Le graissage des colonnes de guidage, de l'arbre central et des articulations.
- 5) Nettoyage des surfaces de contact des mâchoires à la toile abrasive.
- 6) Un joint sera soudé à titre d'essai.
- 7) Contrôle du système hydraulique.
- 8) En fin de travail, nettoyage de la machine.
- 9) Purge du système de refroidissement à l'aide d'air comprimé.
- 10) Nettoyage au jet d'air comprimé des ressorts des billes de centrage au travers des trous dans les mâchoires.
- 11) Contrôle visuel des couteaux d'ébavurage.

L'entretien hebdomadaire doit être effectué conformément au programme, la durée est de 4 à 5 heures.

- 1) Contrôle visuel de la machine, des armoires électrique et de commande, du système hydraulique, des câbles d'alimentation en courant et de commande.
- 2) Contrôle du système de refroidissement, de la pression de l'eau dans le circuit.
- 3) Nettoyage et graissage des colonnes de guidage, de l'arbre central et des articulations.
- 4) Dépose du couvercle inférieur des mâchoires.
- 5) Contrôle de l'état du circuit de courant secondaire.

- 6) Contrôle de l'étanchéité et de l'état des raccords et tuyaux du système de refroidissement.
- 7) Remontage du couvercle inférieur des mâchoires.
- 8) Contrôle de l'alignement et l'état des mâchoires.
- 9) Nettoyage des armoires électriques et de commande.
- 10) Contrôle de l'état du manipulateur électropneumatique.
- 11) Contrôle du système hydraulique (filtres, pression).
- 12) Exécution de deux soudures d'essai.
- 13) Vérification de l'état des couteaux d'ébavurage.

L'entretien mensuel doit être réalisé conformément au programme. La durée nécessaire aux différentes opérations qu'il comporte est d'environ 8 heures.

- 1) Avant démontage de la machine, mesurer la résistance de court-circuit. Celle-ci ne doit pas excéder 100 microhms.
- 2) Vérifier l'état de l'huile du circuit hydraulique. Elle doit être remplacée si son examen révèle la présence d'impuretés ou la perte de ses caractéristiques et, en tout cas, toutes les 1000 heures de marche. L'huile préconisée est l'huile Shell Tellus T46. En cas d'impossibilité de disposer d'huile de cette marque, utiliser une huile présentant les mêmes caractéristiques.
- 3) Contrôler l'état des paliers de l'amplificateur électromagnétique.
Procéder à leur graissage toutes les 500-600 heures de marche.
- 4) Graisser les paliers du moteur électrique du manipulateur électropneumatique et du système séquentiel.
- 5) Vérifier l'état des balais et du collecteur du moteur électrique du système séquentiel.
- 6) Contrôler le système séquentiel et remplacer le lubrifiant du réducteur.
- 7) Nettoyer tous les contacts du démarreur magnétique et relais du manipulateur électropneumatique.
- 8) Contrôler le circuit hydraulique et remédier aux fuites d'huile si nécessaire.
- 9) Contrôler, après avoir pris les mesures de préventions nécessaires, le fonctionnement normal des organes de la soudeuse, l'alignement des mâchoires et la fixation des couteaux d'ébavurage
- 10) Effectuer trois soudures d'essai.

La machine doit être graissée aux endroits et suivant la périodicité prescrits par le plan de graissage.

II.11.3- Protection de la machine :

Lorsque la machine doit être inutilisée pendant un laps de temps assez long, il est indispensable de protéger toutes les parties non peintes ou non laquées de la machine ainsi que les organes de travail et pièces de rechange avec un produit anti-corrosion.

Entrepôt :

La machine sera entreposée dans un local sain, aéré, dans une ambiance exempte de vapeurs de toutes sortes (humides ou corrosives).

Transport :

Son emballage en caisse doit la protéger de tout déplacement au cours du transport.

Il doit la protéger contre tout endommagement mécanique et contre l'humidité.

Les organes accessoires doivent être emballés séparément et protégés.

II.12- Conclusion :

Après avoir étudié la machine, nous pouvons conclure qu'elle présente les caractéristiques et les performances suivantes :

- 1 Qualité optimale des soudures.
- 2 Aucun métal d'apport pour la réalisation du soudage, le matériel de soudure est l'acier même des rails.
- 3 Transport des rails en barres normales directement sur le chantier.
- 4 Enregistrement des paramètres de soudage les plus importants.
- 5 Suppression des erreurs subjectives grâce à la commande automatique du processus de soudage par programmation.
- 6 Rendement élevé, 8 à 10 soudure par l'heure.
- 7 Technique économique de soudage.

CHAPITRE III

Partie expérimentale

Chapitre III : Partie expérimentale.

III.1- Introduction :

Le but recherché dans cette partie de notre travail consiste à caractériser le cordon de soudure par étincelage en effectuant des essais de traction, de dureté et une étude micrographique sur des échantillons prélevés sur le spécimen soudé par étincelage au niveau d'INFRAFER.

De plus, pour les essais de traction et de dureté, nous avons comparé nos résultats avec ceux donnés par INFRAFER pour des échantillons non soudés.

III.2- Préparation des éprouvettes :

Cette partie de notre travail consistait à réaliser des éprouvettes de traction à partir d'un spécimen de deux bouts de rail soudés par étincelage.

Ce travail a été affecté au niveau de l'atelier de département de génie mécanique de l'ENP.

Pour ne pas effectuer thermiquement les éprouvettes, nous avons choisi le procédé de fraisage avec une lubrification abondante.

Nous devons noter que cette partie a été très difficile vue la dureté de l'acier du rail (0,73% de carbone) d'une part et la forme compliqué du rail (difficulté de positionnement et inefficacité du serrage) d'autre part, de plus, la seule fraiseuse fonctionnelle au niveau de notre département comporte de très grand jeux (surtout au niveau de la broche).

Pour la préparation des éprouvettes, il faut d'abord les dimensionner avant de les usiner. Notre choix s'est basé sur une forme plate des éprouvettes vue la complexité de celle du rail.

III.2.1- Dimensions des éprouvettes :

III.2.1.1- Paramètres définissants des éprouvettes :

Les dimensions des éprouvettes sont données suivant la norme NFA03-151. Elles sont définies par :

d : diamètre de la section (section circulaire) ou diamètre du plus petit cercle circonscrit à la section (section non circulaire) ;

a : épaisseur de l'éprouvette plate ;

b : largeur de l'éprouvette plate ;

L_0 : longueur initiale entre repères ;

L_c : longueur de la partie calibrée ;

L_t : longueur totale de l'éprouvette ;

S_0 : section initiale.

III.2.1.2- Forme et dimension de la partie calibrée (pour les aciers) :

- 1 Produit de diamètre $d \geq 4\text{mm}$ ou épaisseur $a \geq 3\text{mm}$:

$$L_0 + \frac{d}{2} < L_c < L_0 + 2d \quad (\text{cylindre ou prismatique})$$

avec $L_0 = k\sqrt{S_0}$ où $k = 5,65$ pour les aciers.

- 2 Tôles et feuilards d'épaisseur comprise entre 0,5 et 3mm (NF A 03-160).

$$L_0 + \frac{b}{2} < L_c < L_0 + 2b$$

Largeur des têtes d'amarrage comprise entre 20 et 40mm ; rayon du congé de raccordement $\geq 20\text{mm}$; en cas des bandes parallèles : longueur entre mâchoires est L_0+3b .

- 3 Fils (NF A 03-705) $L_0=100\text{mm}$ ou 200mm .

Pour $d \geq 4\text{mm}$, $L_0 \geq 10d$, distance entre mâchoires $\geq L_0+50\text{mm}$.

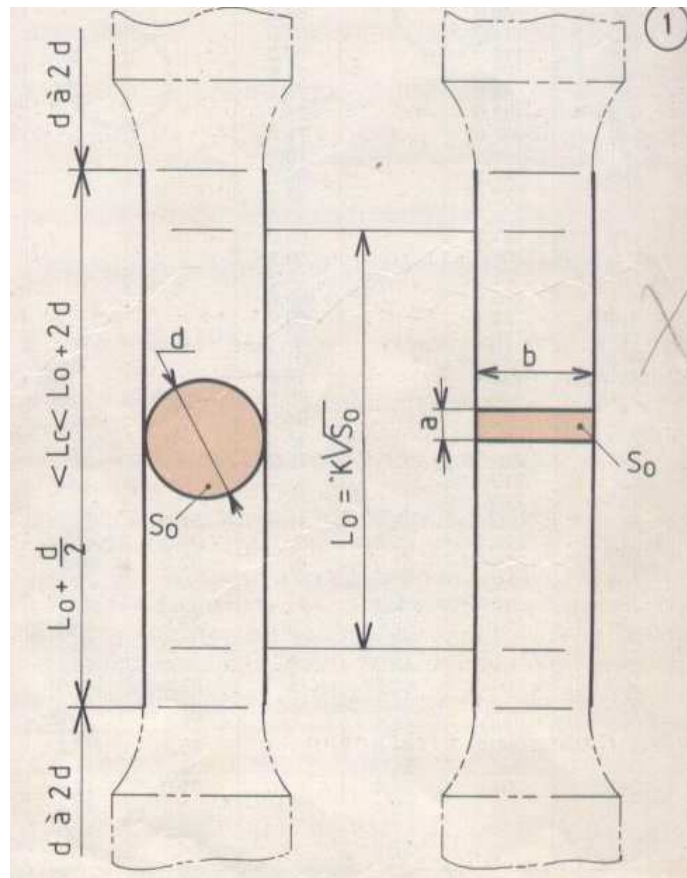


Figure III.1 : Eprouvette usinée selon la norme NFA [12].

III.2.2- Opérations d'usinage :

- Nous avons apporté de l'INFRAFER un échantillon de rail soudé par étincelage (210mm environ) coupé par chalumeau, puis nous avons procédé à l'ébarbage du reste du bourrelet pour le bon serrage à l'étau.
- Nous avons essayé d'usiner les éprouvettes de façon que l'axe de la soudure demeure à mi longueur de la partie calibrée de celle-ci en prenant les précautions nécessaires pour éviter un échauffement excessif du matériau.
- surfacage de la face inférieure du rail avec une fraise à deux tailles -**Fig.III.3-** ;
- traçage de quatre éprouvettes (20x210mm) dont trois pour les essais de traction et une pour l'étude micrographique et l'essai de dureté.
- rainurage avec une fraise cylindrique à queue cylindrique de $\Phi 12\text{mm}$ puis avec une fraise de $\Phi 14\text{mm}$ -**Fig.III.4-** ;
- découpage des quatre éprouvettes par une fraise à trois tailles (épaisseur 5mm) -**Fig.III.5-** ;
- fraisage de la deuxième partie de des éprouvettes par une fraise à deux tailles ;

Remarque : Nous devons noter que les difficultés citées précédemment nous ont empêché d'obtenir des éprouvettes de bonne qualité et de même section comme le montre la figure suivante :



Figure III.2 : Les trois éprouvettes destinées aux essais de traction.



Figure III.3 : Surfaçage de la face inférieure du rail.



Figure III.4 : Rainurage du rail.



Figure III.5 : Découpage du rail.

III.3- Essai de traction :

III.3.1- But :

Le but de cet essai est double: localiser la zone de la rupture et déterminer la résistance ultime.

III.3.2- Principe :

La charge devra être appliquée à l'éprouvette progressivement et de façon continue dans la direction perpendiculaire à l'axe de la soudure jusqu'à la rupture.

III.3.3- Réalisation des essais de traction :

Les essais de traction ont été effectués au sein du laboratoire de soudure de l'ENGTP B.P. 09 ZI REGHAIA - ALGER avec une machine de traction de type UTM, sa capacité est de 1000kN -**Fig.III.6** -



Figure III.6 : Machine de traction.

III.3.4- Résultats de l'essai de traction :

III.3.4.1- Eprouvettes soudées :

Le tableau 1 présente les résultats de l'essai de traction que nous avons effectué sur des éprouvettes soudées par étincelage.

	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Section (mm ²)	F _m (N)	R _m (Mpa)
1	8.06	7.10	57.23	55 284.187	966.07
2	6.79	7.28	49.43	50 846.308	1 028.63
3	6.74	4.02	27.09	29 298.838	1 081.35

Tableau III.1: Résultats des essais de traction des éprouvettes soudées.

$$R_{m(moy)} = \frac{966.07 + 1028.63 + 1081.35}{3} = 1025.35 \text{ MPa}$$

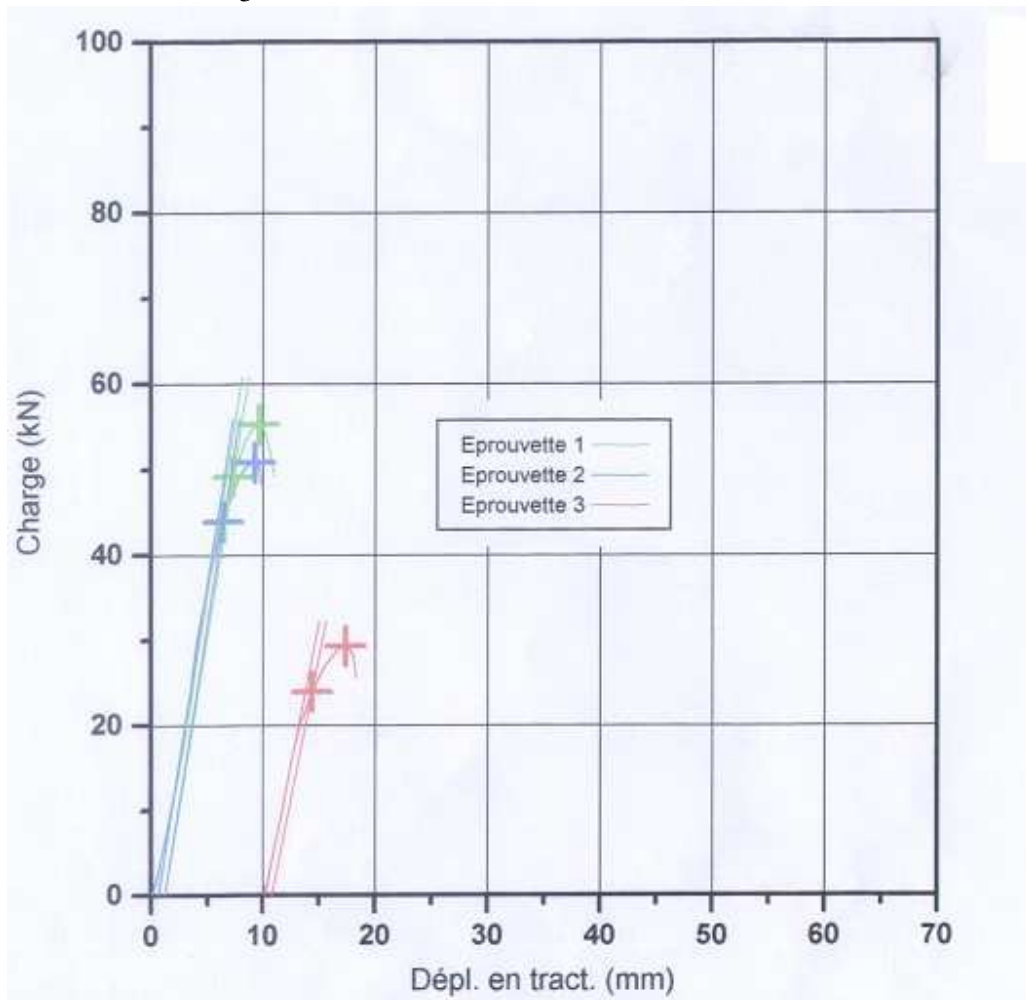


Figure III.7 : Graphes des essais de traction.

Remarque : Les trois éprouvettes soudées, sont rompues en dehors du joint comme le montrent les figures suivantes :

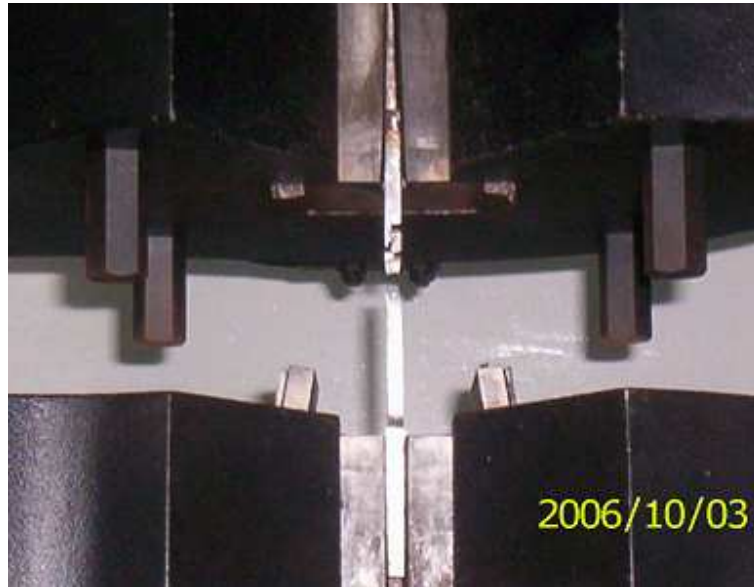


Figure III.8 : photo d'essai de traction de l'éprouvette n°1.



Figure III.9: Photo d'essai de traction de l'éprouvette n°2.



Figure III.10: Photo d'essai de traction de l'éprouvette n°3.

III.3.4.2- Eprouvettes non soudées :

Les résultats des essais de traction effectués sur des échantillons non soudés sont donnés par INFAFER. Ces essais ont été réalisés sur 21 échantillons cylindriques $\Phi 10$ mm prélevés par le constructeur sur le produit de laminage de rails du 11 avril 2006, (voir annexe).

Le résumé des résultats obtenus est indiqué dans le tableau suivant :

Diamètre (mm)	F _{max} (N)	F _{min} (N)	F _{moy} (N)	R _{m(max)} (MPa)	R _{m(min)} (MPa)	R _{m(moy)} (Mpa)
10	70 740	70 480	70 603	966.45	933.98	949.32

Tableau III.2: résultats des essais de traction des échantillons non soudés.

III.3.4.3- Interprétation et comparaison des résultats:

Nous constatons que :

Premièrement : le cordon de soudure a bien tenu.

Deuxièmement : la valeur minimale de la charge de rupture que nous avons obtenue est comparable avec la valeur maximale du fournisseur. Ceci montre que le cordon de soudure a bien résisté à la traction mais la mauvaise qualité de notre usinage a fait que la valeur moyenne de la charge de rupture et celle des échantillons 2 et 3 sont plus élevées que celles obtenues par le fournisseur.

III.4- Mesure de dureté brinell sur échantillon prélevé d'un spécimen soudé :

III.4.1- Définition :

La dureté est la faculté de résistance qu'offre un corps à sa pénétration par un autre corps. Elle est caractérisée par un nombre qui dépend du genre d'essai effectué.

III.4.2- Conditions d'essais :

- l'essai est effectué à température ambiante ;
- nous avons préparé la surface par meulage avec une lubrification abondante pour éviter toute altération de la structure.

III.4.3- Réalisation d'essai de dureté :

Nous avons réalisé l'essai de dureté au sein du laboratoire de soudage de l'ENGTP avec une machine de l'essai de dureté.

III.4.4- Résultats d'essai de dureté :

III.4.4.1- Eprouvettes soudées :

Le tableau **III.3** présente les résultats de l'essai de dureté que nous avons effectué sur l'éprouvette n°4 soudée par étincelage.

HB	270	281	285	292	281	285
Position par rapport au joint de soudure (mm)	+14	+10	+4	0	-4	-12

Tableau III.3 : Résultats de l'essai de dureté pour une éprouvette soudée

$$HB_{moy} = \frac{270 + 281 + 285 + 292 + 281 + 285}{6} = 282.33$$

III.4.4.2- Eprouvettes non soudées :

Les résultats des essais de traction effectués sur des éprouvettes non soudées sont donnés par INFATER. Ces essais ont été réalisés sur 41 éprouvettes cylindriques $\Phi 10\text{mm}$ prélevées par le constructeur sur le produit de laminage de rails du 11 avril 2006 (voir annexe).

Le résumé des résultats obtenus est indiqué dans le tableau suivant :

Diamètre (mm)	HB _{min}	HB _{max}	HB _{moy}
10	269.00	292.00	281,93

Tableau III.4 : Résultats de l'essai de dureté pour 41 éprouvettes non soudées

III.4.4.3- Comparaison et interprétation :

Nous remarquons que la valeur de la dureté est plus élevée au niveau du joint de soudure et elle décroît quand on s'en éloigne pour atteindre la valeur moyenne obtenue par le fournisseur. Ce résultat conforte celui de la traction.

III.5- L'examen micrographique de la soudure :

III.5.1- But :

L'examen micrographique (examen avec microscope optique) nous permet de relever la structure métallographique (micrographie) de l'échantillon examiné.

III.5.2- Préparation de l'échantillon pour l'étude métallographique:

Nous avons choisi la 4^{ème} éprouvette comme échantillon pour notre étude métallographique, le procédé de la préparation pour cette étude est comme suite :

III.5.2.1- Polissage de l'échantillon :

L'échantillon prélevé a subi une préparation mécanique soignée avec une polisseuse fonctionnant sous eau pour réduire les frottements et éviter ainsi son échauffement.

- 1 un polissage grossier (P80 - P240 - P400 et P600) pour éliminer les couches d'attaque ;
- 2 Un polissage fin (P800 - P1000 et P1200) ;
- 3 Une finition à l'alumine (1 μ m et 0,3 μ m) ;

La vitesse de rotation de la polisseuse est comprise entre 150 et 300 tr/mn environ. L'échantillon subit une rotation de 90° à chaque changement de granulométrie pour effacer les raies précédentes de polissage. La durée de polissage est d'environ 2 mn pour chaque étape.

Remarque importante : En passant d'un papier à un autre, l'échantillon et le papier sont rincés soigneusement pour assurer un nettoyage en profondeur.

III.5.2.2- Attaque chimique :

L'échantillon est trempé durant 5 secondes dans le Nital à 4% :
1ml NHO_3 (acide nitrique) et 24ml HCl (acide chlorhydrique) puis rincé.

III.5.3- Réalisation l'examen métallographique :

L'examen métallographique et la préparation de l'échantillon ont été réalisés au laboratoire métallographie du département Métallurgie de l'ENP.

III.5.4- Résultats de l'étude micrographique (éprouvette soudée) :

III.5.4.1- Vues microscopiques :

Les examens microscopiques avec une agrandissement (x100, x250 et x400) ont été réalisés au niveau du laboratoire métallurgie de l'ENP.

Les résultats obtenus sont donnés sous forme des photos.

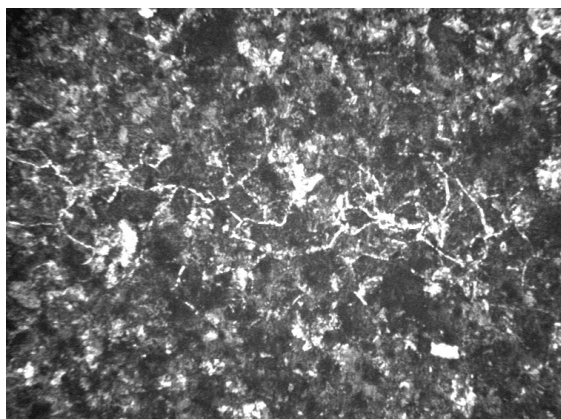


Figure III.11: Vue microscopique au niveau du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 100.

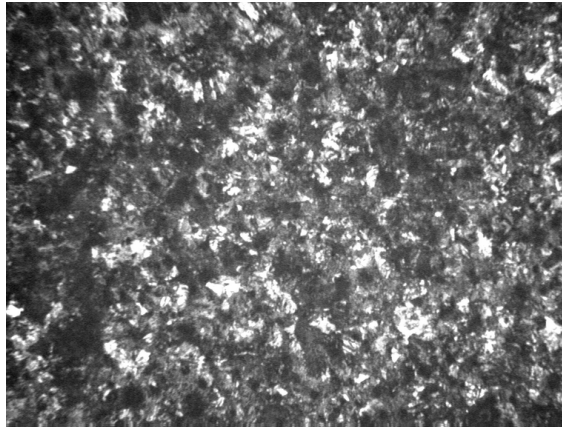


Figure III.12 : Vue microscopique au niveau près du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 100.

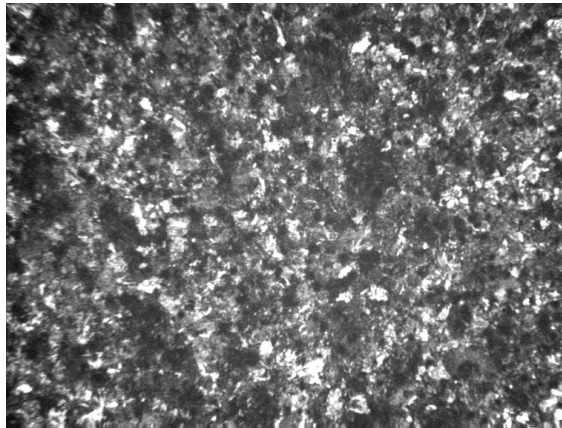


Figure III.13 : Vue microscopique au niveau loin du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 100.

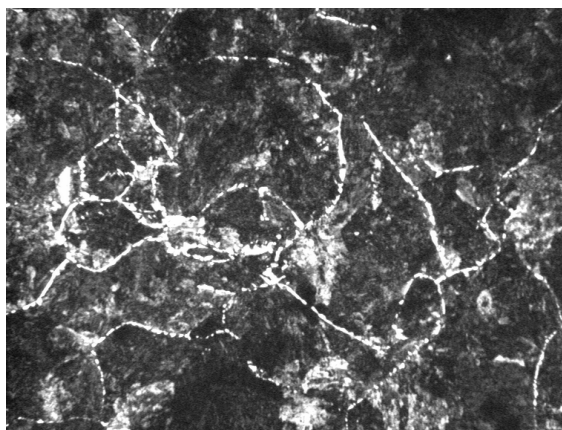


Figure III.14 : Vue microscopique au niveau du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 250.

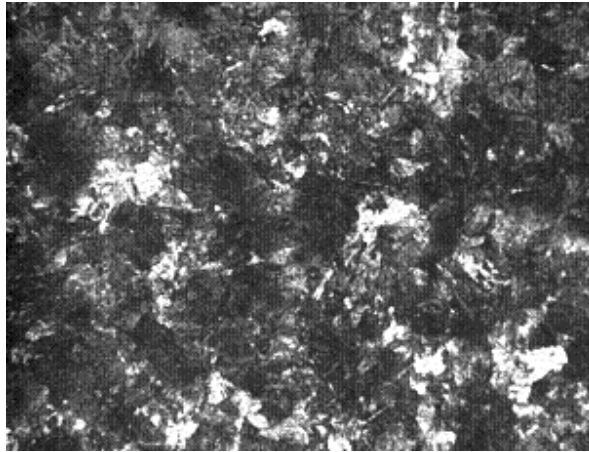


Figure III.15 : Vue microscopique au niveau près du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 250.

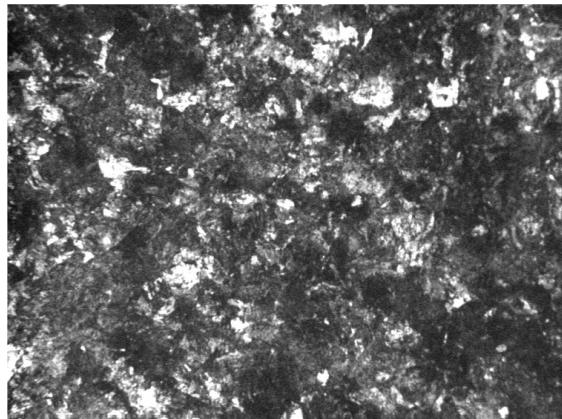


Figure III.16 : Vue microscopique au niveau loin du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 250.

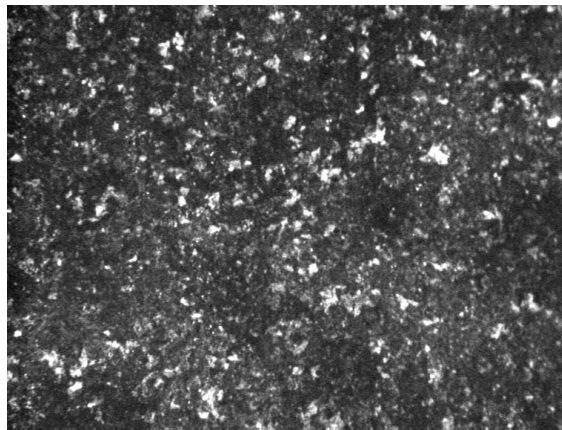


Figure III.17 : Vue microscopique au niveau très loin du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 250.

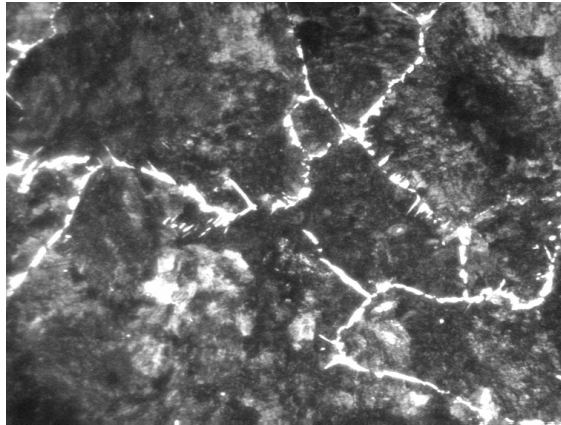


Figure III.18 : Vue microscopique au niveau du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 400.

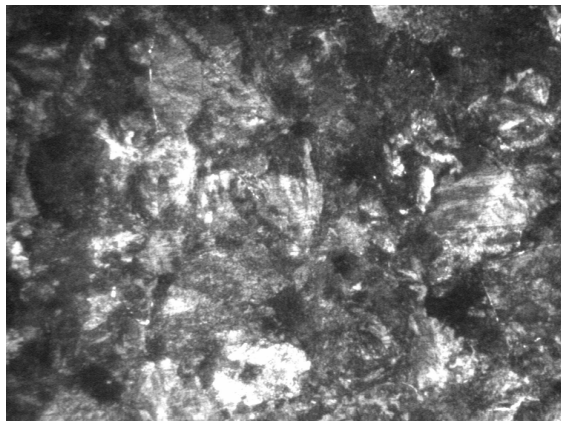


Figure III.19 : Vue microscopique au niveau près du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 400.

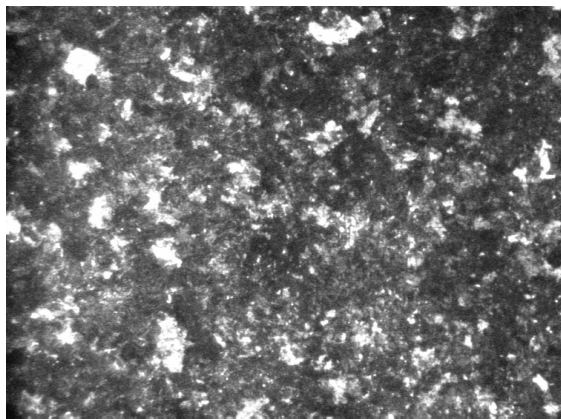


Figure III.20 : Vue microscopique au niveau loin du joint soudure par étincelage avec un agrandissement de 400

III.5.4.2- Interprétation des résultats de l'analyse métallographique :

L'analyse métallographique a révélé la présence de trois zones : la zone centrale, une zone thermiquement affectée (ZAT) et le métal de base (mb).

- La zone centrale (ou joint de soudure) très étroite (**Fig.III.11, III.14 et III.18**), apparaît à l'œil nu comme un trait fin d'environ un dixième de millimètre, formé de grains de perlites (noires) et de ferrites (blanches) où ces derniers (les grains de la ferrite) sont regroupés au centre pour former des courbes allongées suivant la direction du cordon soudé. Un agrandissement de 400 fait apparaître un début de structure de Widmanstätten (un étirement transversal en plusieurs endroits des gains de ferrite).

Dans le métal de base (**Fig.III.13, III.17 et III.19**) apparaissent des grains fins de perlite et de ferrite, tandis que la zone thermiquement (**Fig.III.12, III.15, III.16 et III.20**) affectée est toujours formée de perlite et de ferrite. Il n'y a pas d'apparition de martensite parce que les mâchoires sont abondamment refroidies sans permettre une diffusion du carbone de la perlite vers la ferrite.

III.6- Conclusion :

Après avoir comparé les résultats des essais de traction et de dureté des éprouvettes soudées par étincelage avec celles ne comportant pas de soudure, nous pouvons conclure que la présence du cordon n'influence en rien les caractéristiques mécaniques des rails.

L'étude métallographique a montré une parfaite homogénéité au niveau du cordon de soudure. Ceci prouve que le soudage par étincelage fournit de bons résultats du point de vue de la résistance.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif initial de notre étude était l'établissement de gammes de diagnostic, de réparation et de réalisation de l'arbre principal de la soudeuse par étincelage dont dispose l'entreprise nationale INFRAFER, mais la non disponibilité et l'empêchement de l'établissement d'un dessin de définition normalisé nous a mené à la caractérisation d'un cordon de soudure exécuté à l'aide de cette machine sur deux abouts de rail de chemin de fer.

Les trois essais de traction, malgré un usinage imparfait des éprouvettes, à cause de la dureté élevée du métal du rail, de la difficulté du serrage du spécimen et surtout des jeux excessifs de la broche de la seule fraiseuse fonctionnelle au niveau de l'atelier du département de mécanique de l'ENP, ont montré que la rupture a eu lieu loin du cordon de soudure. Cette constatation est confirmée par les résultats des essais de dureté qui montrent une croissance de cette dernière lorsque nous nous rapprochons de la zone très mince de liaison. Ceci peut être justifié par les contraintes internes de compression dues à l'effort de refoulement après l'étape de fusion. L'étude microscopique montre trois parties distinctes : La zone de liaison très mince, le métal de base et une zone thermiquement affectée entre les deux.

Pour terminer, nous souhaitons que ce modeste travail soit suivi par des études telle qu'une caractérisation thermomécanique des abouts soudés par ce procédé conduisant à la détermination des contraintes internes suivie de la mesure de leurs valeurs.

ANNEXES

Informe de Estadísticas de Ensayo de
tracción en Acero, probeta cilíndrica
Aceralia Gijón



Fondos de escala de los canales analógicos:
 Fuerza: 60 000 kgf Posición: 500.00 mm Auxiliar 1: 2.0000 mm
 Nombre de archivo: CARRIL-CARR540-CV35R52-INTRAFER-27-06-2009(LAMINACION-11-04-09)

Ensayos:

Ensayo Nº	Propbeta	Canala	Diámetro mm	Carga máxima (Fm) kgf	Riesgo tracción (Rm) MPa	Longitud base (Lb) mm	CdL porcentual (%)
1	1	630741	10,00	07 732	904 160	96,9	13,20
2	2	630729	10,00	07 661	943 562	96,6	13,20
3	3	630730	10,00	07 616	950 809	96,3	12,80
4	4	630732	10,00	07 740	959 446	96,0	12,80
5	5	620178	10,00	07 621	951 688	96,2	13,40
6	6	620177	10,00	07 641	954 100	96,1	13,20
7	7	620178	10,00	07 735	955 792	96,1	13,20
8	8	630733	10,00	07 603	949 295	96,2	13,60
9	9	630733	10,00	07 594	944 697	96,8	13,20
10	10	620159	10,00	07 641	954 100	96,4	13,20
11	11	620154	10,00	07 542	941 755	96,7	13,40
12	12	620148	10,00	07 594	948 155	96,9	13,80
13	13	630747	10,00	07 645	954 557	96,7	13,40
14	14	630747	10,00	07 577	938 609	96,9	13,00
15	15	630744	10,00	07 495	946 597	96,4	12,80
16	16	630745	10,00	07 517	946 597	96,4	12,80
17	17	630746	10,00	07 643	954 328	96,6	13,20
18	18	630742	10,00	07 504	939 902	97,1	14,20
19	19	620179	10,00	07 506	949 984	96,7	13,40
20	20	620196	10,00	07 594	948 155	96,8	13,80
21	21	620214	10,00	07 541	941 525	96,8	13,80
22	22	620213	10,00	07 480	933 960	96,7	13,40

Resultados:

Media	10,00	07 603	949 320	96,6	13,13
Máximo	10,00	07 740	959 446	97,1	14,20
Mínimo	10,00	07 480	933 960	96,0	13,00
Varianza	0,00	06 030	78 830	0,1	0,41
Desviación C. vertical	0,00	00 071	8 867	0,3	0,94
	000,000 %	000,003 %	000,504 %	000,992 %	004,546 %



LAMINACIÓN 18N-96

REFERENCIA : CARRIL CAR 540

PEDIDO : INFRAFER

Tipo de trabajo : DUREZAS X BRINELL

CALIDAD : CV3

N° MUESTRA COLADA	N°	BOLA	CARGA	VALORES INDIVIDUALES / HUELLA			MEDIA	NT-CA-110 OBSERVACIONES
620511	1	10.0	3.100	277	277	277	277	
620510	2	.	.	277	275	277	277	
620509	3	.	.	275	275	275	275	
610117	4	.	.	269	277	285	277	
631092	5	.	.	277	277	275	277	
631091	6	.	.	275	277	277	277	
631093	7	.	.	277	275	275	277	
631096	8	.	.	277	277	275	277	
631094	10	.	.	277	277	275	277	
631095	11	.	.	275	275	277	277	
631097	12	.	.	277	277	275	277	
620524	13	.	.	275	275	275	275	
620525	14	.	.	275	275	277	277	
620526	15	.	.	275	275	275	275	
521679	16	.	.	269	277	277	275	
512385	17	.	.	277	277	269	275	
521796	18	.	.	269	277	269	277	
630260	19	.	.	269	277	277	275	
620527	20	.	.	277	275	275	277	
620529	21	.	.	277	275	277	277	
620530	22	.	.	275	275	275	275	
631101	23	.	.	275	275	275	275	
620534	24	.	.	277	275	275	277	
620535	25	.	.	277	277	275	277	
631108	26	.	.	275	275	277	277	
620566	27	.	.	275	275	277	277	
620565	28	.	.	275	275	275	275	
620564	29	.	.	275	277	277	277	
631107	30	.	.	275	275	275	275	
620554	31	.	.	275	275	277	277	
631104	32	.	.	275	275	275	275	

ACERIALIA
[Signature]

SEAD INSPECTORA

V° B° JEFE SERVICIO

POR ENSAYOS MECANICOS



ENSAYOS MECANICOS

LAMINACION 1805-06

FECHA

REFERENCIA : CARRIL CAR 540

PEDIDO : INFRAFER


Tipo de trabajo : DUREZAS X BRINELL

CALIDAD : CV3

NT CA-110

N° MUESTRA COLADA	N°	BOLA Ø	CARGA Kg	VALORES INDIVIDUALES / HUELLA			MEDIA	OBSERVACIONES
63105	33	100	3.000	285	285	285	285	
63106	34	"	"	285	285	285	285	
620549	35	"	"	285	285	285	285	
620553	36	"	"	285	285	285	285	
620538	37	"	"	274	285	285	277	
620539	38	"	"	277	278	278	278	
620537	39	"	"	269	278	278	275	
620536	40	"	"	285	277	285	282	
63107	41	"	"	285	285	285	285	
63103	42	"	"	285	285	285	285	

ACERALIA
Grupo Arcelor
DIRECCION DE CALIDAD Y DESARROLLO



SOAD INSPECTORA

V° B° JEFE SERVICIO

POR ENSAYOS MECANICOS

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] : W.CHAPAU ; R.BAUS « Application du soudage aux constructions »
Edition Science et Lettre, 1977.
- [2] : P.T.HOULDRIFT « Les procédés de soudage » . Editions Sciences et
Lettres, 1971
- [3] : R.LE BOURGOIS « Soudage à l'arc, Tome 3» . Edition Eyrolles, 1989.
- [4] : J.ALIAS « Voie ferrée » . Edition Eyrolles, 1984.
- [5] : R.CAZES « Soudage à l'arc» . Technique de l'ingénieur, M7730.
- [6] : R.CAZES « Procédés de soudage » . Technique de l'ingénieur, B7700.
- [7] : R.CAZES « Soudage par résistance » .Technique de l'ingénieur, M7720.
- [8] : M.BARAKA « Le soudage des rails » . Séminaire, 1994.
- [9] : Plasser & Theurer « K355 APT, Voiture automotrice de soudage des rails
par étincelage-forgeage » , Document technique.
- [10] : Plasser & Theurer « Machine automotrice de soudage par étincelage-
forgeage type K.355.APT » . Catalogue.
- .

الموضوع: تحديد خصائص وصلة التلحيم بواسطة الشرارة على قطعة قطعة سكة حديدية .

التلخيص

يهدف عملنا دراسة آلة التلحيم بواسطة الشرارة (نوع K.355TPA) مع التحديد تجريبيا خصائص وصلة على طرفي قطعة سكة حديدية لتلحيم المنفذة من طرف هذه الآلة على مستوى مؤسسة INFRAFER.
كلمات مفتاحية: الشرارة، الجر، الصلادة، ميتالوغرافيا

Sujet : Caractérisation d'un cordon soudure par étincelage sur rail.

Résumé:

Note travail consiste à étudier une machine à souder par étincelage (type K.355.APT) en caractérisant expérimentalement un cordon de soudure exécuté par cette machine au niveau d'INFRAFER sur deux abouts de rail.

Les essais de traction et de dureté ainsi qu'une étude métallographique ont donnés des résultats comparables avec les caractéristiques du métal de base (données par le constructeur).

Mots clés : étincelage, traction, dureté, métallographie.

Subject: Characterization of a cord welding by etinceling on rail

Summary:

Note work consists in studying a machine to be welded by etinceling (standard K.355.APT) by characterizing a weld bead in experiments carried out by this machine on the level of INFRAFER onto two ends of the rail.

The hardness and tensile tests as well as a metallographic study gave comparable results with the characteristics of the base metal (given by the manufacturer).

Key words: etinceling, traction, hardness, metallography.