



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF

Faculté de Génie Mécanique
Département de Génie Mécanique

2^E ANNEE DE MASTER EN GENIE MECANIQUE

OPTIONS

- CONSTRUCTION MECANIQUE
- FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

COURS EN LIGNE DE

RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET CONCEPTION DU MEMOIRE

PRESENTE PAR

Dr. SAFER KHADIDJA

Maître de conférences classe A

PRESENTATION DU COURS DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET CONCEPTION DU MEMOIRE

La formation de master en génie mécanique, comme dans n'importe quelle autre discipline, s'achève par la préparation et la soutenance d'un projet de fin de cycle. Cette étape qui est la dernière avant d'obtenir son diplôme s'avère très importante dans la formation d'un étudiant. Elle représente une période particulièrement dense en volume de travail autant qu'en stress pour celui qui prépare son mémoire. La soutenance publique est aussi une source d'appréhension et d'angoisse pour la plupart des étudiants. Il est donc très important de pouvoir préparer son mémoire avec méthodologie pour réussir cette période importante de la vie estudiantine.

Ce cours s'adresse aux étudiants de master 2 en génie mécanique, options construction mécanique et fabrication mécanique, qui sont sur le point de préparer leur projet de fin de cycle. Cette matière fait aussi partie du programme de master 2 en génie mécanique pour les options énergétique et installations énergétiques et turbomachines. En effet, tous les étudiants en master 2 sont concernés et ont besoin d'acquérir une bonne méthodologie pour bien préparer leurs projets finaux.

Le contenu de ce cours est conforme au programme officiel émis par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

A travers les différents chapitres, le lecteur sera initié à la recherche documentaire et prendra connaissance des étapes, de la méthodologie ainsi que la manière de rédiger et de présenter un mémoire.

En résumé, ce cours est un outil qui vise à faciliter aux étudiants la préparation de leur mémoire du début à la soutenance et de leur donner la bonne démarche à suivre pour cela.

Il est utile de préciser que ce cours est également d'une grande utilité aux nouveaux diplômés qui entament une vie professionnelle dans la mesure où ils seront souvent appelés

à préparer des projets et les présenter tout en les mettant en valeur et de communiquer de la meilleure manière dans le monde du travail.

Objectifs scientifiques du cours

Les objectifs de ce cours se résument dans les points suivants :

- Apprendre à choisir un thème adéquat pour son mémoire de fin de cycle
- Apprendre à l'étudiant à définir son sujet correctement et cerner le travail qu'il doit effectuer
- Connaître la démarche à suivre pour bien mener une recherche documentaire, première étape pour préparer son mémoire
- Apprendre à chercher l'information, à évaluer sa qualité et sa pertinence dans le cadre du thème du mémoire
- Apprendre à établir un plan de travail et à s'organiser dans le temps afin de respecter les délais
- Apprendre à rédiger une bibliographie selon les normes
- Prendre connaissance des différentes parties qui constituent un mémoire
- Connaître les techniques et normes de rédaction
- Apprendre à préparer sa présentation et à réussir sa soutenance
- Apprendre à éviter le plagiat

Objectifs pédagogiques du cours

Du point de vue pédagogique, les principaux objectifs de ce cours en ligne sont :

- Choisir un sujet qui correspond à l'apprenant, qui l'intéresse et qu'il a les capacités de réaliser en respectant les délais
- Acquérir les techniques de recherche documentaire
- Organiser son travail dans le temps afin de ne pas être pris de cours, de respecter les délais et de minimiser son stress
- Organiser le travail avec son encadreur et établir un planning
- Développer ses capacités de rédaction

- Développer son sens de la communication

Contenu du cours

Le cours de recherche documentaire et conception du mémoire est divisé en deux parties principales :

- 1. Partie recherche documentaire** elle comprend la définition du sujet, la localisation et le traitement des informations et la rédaction d'une bibliographie. Cette partie est divisée en cinq cours.
- 2. Partie conception du mémoire** elle concerne les étapes d'un mémoire, les techniques et normes de rédaction et l'exposé oral lors d'une soutenance. Cette partie est divisée en cinq cours

Organisation du cours

Chaque partie est divisée en cinq sous – chapitres sous forme de cours organisés de la façon suivante :

1. Le cours

Les éléments du cours sont les suivants :

- **Compétences visées** résument les compétences à acquérir à l'issue du cours en question
- **Mots – clés** la liste des mots – clés est présentée au début de chaque cours
- **Introduction** chaque cours commence par une introduction qui présente le contenu et le contexte du cours
- **Méthodes et astuces** à la fin de chaque cours, pour aider l'étudiant à optimiser son travail et éviter les erreurs communes.

2. L'atelier : format du mémoire de fin de cycle en vigueur à la Faculté de Génie Mécanique

Le troisième cours de la deuxième partie de ce cours est un atelier de travail dans lequel est présenté le modèle de rédaction du mémoire de fin de cycle adopté par la Faculté de Génie

Mécanique depuis l'année académique 2017 – 2018. Cet atelier vise à présenter ce modèle de rédaction sous forme de template et d'apprendre à l'étudiant à l'appliquer. Il s'effectue dans une salle d'informatique sur ordinateur.

3. Révision générale et points – clés

Une révision générale sous forme de présentation Powerpoint résume les points les plus importants que pourra consulter l'étudiant directement lors de la préparation de son mémoire.

4. Activités d'apprentissage et d'évaluation

Des activités qui permettent à l'apprenant de vérifier les connaissances acquises à travers ce cours sont proposées. Certaines sont notées et permettent d'évaluer l'étudiant.

Semestre : 3

Unité d'enseignement: UET 2.1

Matière 1 : Recherche documentaire et conception de mémoire

VHS : 22h30 (Cours: 1h30)

Crédits : 1

Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

Donner à l'étudiant les outils nécessaires afin de rechercher l'information utile pour mieux l'exploiter dans son projet de fin d'études. L'aider à franchir les différentes étapes menant à la rédaction d'un document scientifique. Lui signifier l'importance de la communication et lui apprendre à présenter de manière rigoureuse et pédagogique le travail effectué.

Connaissances préalables recommandées :

Méthodologie de la rédaction, Méthodologie de la présentation.

Contenu de la matière:

Partie I - : Recherche documentaire :

Chapitre I-1 : Définition du sujet (02 Semaines)

- Intitulé du sujet
- Liste des mots clés concernant le sujet
- Rassembler l'information de base (acquisition du vocabulaire spécialisé, signification des termes, définition linguistique)
- Les informations recherchées
- Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

Chapitre I-2 : Sélectionner les sources d'information (02 Semaines)

- Type de documents (Livres, Thèses, Mémoires, Articles de périodiques, Actes de colloques, Documents audiovisuels...)
- Type de ressources (Bibliothèques, Internet...)
- Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

Chapitre I-3 : Localiser les documents (01 Semaine)

- Les techniques de recherche
- Les opérateurs de recherche

Chapitre I-4 : Traiter l'information (02 Semaines)

- Organisation du travail
- Les questions de départ
- Synthèse des documents retenus
- Liens entre différentes parties
- Plan final de la recherche documentaire

Chapitre I-5 : Présentation de la bibliographie (01 Semaine)

- Les systèmes de présentation d'une bibliographie (Le système Harvard, Le système Vancouver, Le système mixte...)
- Présentation des documents.
- Citation des sources

Partie II : Conception de mémoire

Chapitre II-1 : Plan et étapes du mémoire

(02 Semaines)

- Cerner et délimiter le sujet (Résumé)
- Problématique et objectifs du mémoire
- Les autres sections utiles (Les remerciements, La table des abréviations...)
- L'introduction (*La rédaction de l'introduction en dernier lieu*)
- État de la littérature spécialisée
- Formulation des hypothèses
- Méthodologie
- Résultats
- Discussion
- Recommandations
- Conclusion et perspectives
- La table des matières
- La bibliographie
- Les annexes

Chapitre II-2 : Techniques et normes de rédaction

(02 Semaines)

- La mise en forme. Numérotation des chapitres, des figures et des tableaux.
- La page de garde
- La typographie et la ponctuation
- La rédaction. La langue scientifique : style, grammaire, syntaxe.
- L'orthographe. Amélioration de la compétence linguistique générale sur le plan de la compréhension et de l'expression.
- Sauvegarder, sécuriser, archiver ses données.

Chapitre II-3 : Atelier : Etude critique d'un manuscrit

(01 Semaine)

Chapitre II-4 : Exposés oraux et soutenances

(01 Semaine)

- Comment présenter un Poster
- Comment présenter une communication orale.
- Soutenance d'un mémoire

Chapitre II-5 : Comment éviter le plagiat ?

(01 Semaine)

(Formules, phrases, illustrations, graphiques, données, statistiques,...)

- La citation
- La paraphrase
- Indiquer la référence bibliographique complète

Mode d'évaluation :

Examen : 100%

Références bibliographiques :

1. M. Griselin et al., *Guide de la communication écrite, 2e édition, Dunod, 1999.*
2. J.L. Lebrun, *Guide pratique de rédaction scientifique : comment écrire pour le lecteur scientifique international, Les Ulis, EDP Sciences, 2007.*
3. A. Mallender Tanner, *ABC de la rédaction technique : modes d'emploi, notices d'utilisation, aides en ligne, Dunod, 2002.*
4. M. Greuter, *Bien rédiger son mémoire ou son rapport de stage, L'Etudiant, 2007.*
5. M. Boeglin, *lire et rédiger à la fac. Du chaos des idées au texte structuré. L'Etudiant, 2005.*
6. M. Beaud, *l'art de la thèse, Editions Casbah, 1999.*
7. M. Beaud, *l'art de la thèse, La découverte, 2003.*
8. M. Kalika, *Le mémoire de Master, Dunod, 2005.*

CONTENU DU COURS EN LIGNE

PARTIE COURS

Partie 1 Recherche documentaire	01
Chapitre 1 Définition du sujet	02
1.1 Introduction	03
1.2 Intitulé du sujet	03
1.3 Liste des mots-clés	04
1.5 Rassemblement des informations de base.....	04
1.6 Informations recherchée	06
1.7 Faire le point sur ses connaissances dans le domaine	06
Méthodes et astuces pour le chapitre 1	06
Chapitre 2 Sélectionner les sources d'information	07
2.1 Introduction	08
2.2 Types de documents	08
2.3 Types de ressources.....	09
2.4 Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information.....	10
Méthodes et astuces pour le chapitre 2	11
Chapitre 3 Localiser les documents	12
3.1 Introduction	13
3.2 Techniques de recherche	13
3.3 Opérateurs de recherche	14
Méthodes et astuces pour le chapitre 3	15
Chapitre 4 Traiter l'information	18
4.1 Introduction	17
4.2 Organisation du travail.....	17
4.3 Questions de départ	17
4.4 Synthèse des documents retenus.....	19
4.5 Liens entre différentes parties	19

4.6 Plan final de la recherche documentaire	19
Méthodes et astuces pour le chapitre 4	19
Chapitre 5 Présentation de la bibliographie	21
5.1 Introduction	22
5.2 Systèmes de présentation d'une bibliographie	22
5.3 Présentation des documents	23
5.4 Citation des sources	23
Méthodes et astuces pour le chapitre 5	24
Partie 2 Conception du mémoire	26
Chapitre 1 Plan et étapes du mémoire	27
1.1 Introduction	27
1.2 Résumé et mots – clés	27
1.3 Remerciements et dédicaces	28
1.4 Tables des matières ou sommaire	28
1.5 Nomenclature et abréviations	28
1.6 Introduction générale	28
1.7 Synthèse bibliographique	29
1.8 Méthodologie	29
1.9 Résultats et discussions	29
1.10 Conclusions et perspectives	29
1.11 Bibliographie	29
1.12 Annexes	30
Méthodes et astuces pour le chapitre 1	30
Chapitre 2 Techniques et normes de rédaction	31
2.1 Introduction	32
2.2 Rédaction, langue scientifique, style, grammaire et orthographe	32
2.3 Mise en forme du mémoire	33
2.4 Sauvegarder, sécuriser et archiver ses données	33

Chapitre 3 Atelier	34
3.1 Introduction	35
3.2 Présentation du modèle de rédaction du mémoire en vigueur dans le Département de Génie Mécanique	35
Chapitre 4 Exposé oral et soutenance	57
4.1 Introduction	58
4.2 Préparation de la soutenance	58
4.3 Préparation du support visuel ou diapositives	59
4.4 Avant la soutenance	60
4.5 Le jour de la soutenance	60
Méthodes et astuces pour le chapitre 4	61
Chapitre 5 Le plagiat	62
5.1 Introduction	63
5.2 Conséquences du plagiat	63
5.3 Paraphrases	63
5.4 Législation algérienne relative au plagiat	64
5.4 Comment éviter le plagiat	64

ACTIVITES D'APPRENTISSAGE ET D'EVALUATION

ACTIVITE 1 Résumé d'une publication scientifique en Français

ACTIVITE 2 Résumé d'une publication scientifique en Anglais

ACTIVITE 3 Résumé et présentation d'un mémoire

REVISION GENERALE : LES POINTS A RETENIR

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OUVRAGES POUR APPROFONDIR SES CONNAISSANCES

PARTIE 1

RECHERCHE DOCUMENTAIRE

PARTIE 1

CHAPITRE 1

DEFINITION DU SUJET

Contenu du chapitre

02 semaines

1.1 Introduction	03
1.2 Intitulé du sujet	03
1.3 Liste des mots-clés	04
1.5 Rassemblement des informations de base.....	04
1.5 Informations recherchée	06
1.6 Faire le point sur ses connaissances dans le domaine	06
Méthodes et astuces pour le chapitre 1	06

Compétences visées

- Définir correctement l'intitulé d'un thème de mémoire de fin de cycle
- Savoir trouver les mots – clés du sujet de mémoire
- Savoir constituer un référentiel des connaissances de base sur le sujet
- Savoir dresser la liste des informations recherchées
- Apprendre à faire le point sur ses connaissances dans le domaine

Mots – clés

Intitulé du sujet de mémoire – Mots – clés d'un thème de mémoire – Connaissances de base sur le sujet du mémoire – Informations de base – Informations recherchées.

1.1 Introduction

Il existe quelques normes de base pour préparer et rédiger un Mémoire de Fin de Cycle. Certaines concernent la forme du mémoire, comme le nombre de copies à imprimer, le format, la reliure etc... Ces règles concernent chaque département ou faculté. Il faut donc prendre connaissance rapidement des lois locales avant de commencer à rédiger son mémoire.

Il existe aussi des conventions qui concernent chaque spécialité. Ceux sont les manières de rédiger qui facilitent la compréhension dans la spécialité concernée. Par exemple, un étudiant en philosophie ne rédige pas son mémoire de la même manière et dans le même style qu'un étudiant en génie mécanique.

Certains départements comme le département de Génie Mécanique de l'USTOMB ont un format à respecter qui leur est propre.

1.2 Intitulé du sujet

Le titre est le premier élément qui apparait dans un mémoire. Il reflète totalement le contenu du travail. **Le titre doit être le résumé du résumé** du mémoire. C'est une partie très importante du mémoire. Si l'étudiant a des difficultés à choisir le titre de son mémoire, il doit résumer son résumé en quelques mots. Le titre doit :

- être le plus court possible sans être trop court sinon il ne peut pas informer sur le contenu du mémoire. Un titre trop long désintéresse le lecteur et est plus difficile à comprendre. Il faut éviter les répétitions de mots ou d'articles.

Exemple 1.1

« Etude d'un rotor » : titre trop court qui ne donne pas d'information sur le travail effectué dans le mémoire. De quelle étude s'agit-il ? De quel rotor ? En quoi consiste l'étude ? Quelle est la méthode utilisée ?

« Etude du comportement dynamique d'un rotor lors de la phase de démarrage d'une turbine à vapeur dans une usine de liquéfaction du gaz naturel » : titre trop long et lourd. Le lecteur doit le lire plusieurs fois pour comprendre. Les mots « de » et « d' » sont répétés.

« Comportement dynamique du rotor d'une turbo génératrice pendant le démarrage » : titre adéquat. Il indique le travail fait et la méthode suivie.

- renseigner sur le contenu du sujet
- être attractif

Le titre doit permettre au lecteur qui effectue une recherche dans le domaine de trouver le mémoire. Il existe différentes manières de choisir le titre du mémoire :

- titre qui définit le sujet et la méthode de travail : « Etude expérimentale du traitement thermique dans les aciers inox ».
- titre qui pose un problème à résoudre « Limitation de l'érosion dans un pipe de gaz naturel ».
- autres titres : il existe des titres sous forme de questions « Le type d'acier a-t-il une influence sur la durée de vie d'un rotor de turbine à vapeur ? »

1.3 Liste des mots-clés

Les mots-clés sont les termes les plus importants du travail. Il faut les choisir avec soin. Ils permettent au lecteur de retrouver ce qu'il cherche dans le mémoire.

Les mots-clés permettent aussi à l'étudiant d'effectuer la recherche documentaire sur son thème de mémoire. Il est donc important de les établir dès le début du travail.

Pour établir la liste des mots-clés, il faut repérer les mots techniques qui se répètent le plus dans le mémoire. Ces termes doivent être listés au début du mémoire.

1.4 Rassemblement des informations de base

La recherche des informations qui concernent un sujet est définie comme une investigation approfondie et appliquée dans toutes les questions qui concernent ce sujet. Pour cela, il est important d'utiliser les mots-clés et les termes qui interviennent dans le sujet. Il faut commencer par chercher les définitions exactes de tous les termes de base et de les noter. La connaissance de la langue est très importante dans cette étape. L'étudiant ne peut pas effectuer une collecte d'informations dans une langue qu'il ne parle pas ou qu'il connaît mal. Il doit s'occuper du côté linguistique et faire des efforts pour améliorer son langage et son écrit dans la langue dans laquelle il travaille et la langue dans laquelle il va soutenir son travail. Une mauvaise maîtrise de la langue donne toujours une image négative du candidat qui fait des fautes, cherche ses mots et répond mal aux questions du jury.

L'étudiant doit donc faire des efforts considérables dans ce sens.

Avant de débiter la recherche documentaire, il est nécessaire de rencontrer son encadreur afin de bien définir le sujet avec lui, la méthode de travail ainsi que les moyens utilisés. L'étudiant doit avoir une idée précise de ce qu'il va faire. Il peut aussi proposer d'autres idées à son encadreur ou modifier certaines choses. Le thème doit être réalisable est important.

Un thème est réalisable si :

- Il existe un minimum de littérature le concernant
- Les données le concernant sont disponibles
- Permet de répondre aux questions fondamentales posées
- Est réalisable dans les délais imposés.

Le thème est important si :

- Il touche un sujet d'actualité ou
- Il touche un sujet d'intérêt dans le domaine.

Le dialogue avec l'encadreur est très important dans la préparation d'un mémoire. Il faut rencontrer régulièrement l'encadreur et le tenir au courant de ce que l'on fait et prendre son avis sur la méthodologie et les étapes effectuées.

Il est donc important d'établir un planning des rencontres avec son encadreur régulièrement. L'étudiant doit lui demander ses horaires de disponibilité.

Il est également utile de prendre note des points que l'étudiant doit traiter avec son encadreur avant chaque rencontre afin de ne rien oublier.

Une fois la recherche documentaire commencée, il faut tenir au courant en permanence son encadreur sur la documentation utilisée. Certains ouvrages sont plus appropriés que d'autres sur le sujet du mémoire.

Il est aussi très utile de se poser les questions suivantes avant de commencer :

- Etes-vous motivé pour travailler sur le sujet ?
- Est-ce que le mémoire est réalisable dans les délais et que le volume horaire pour le faire est acceptable ?
- Est-ce qu'il existe un minimum de documentation ?
- Le sujet est-il d'actualité ?
- Le sujet pose-t-il un problème d'éthique ou de morale ?

- Que faut-il faire dans ce sujet ?
- Quelle méthode faut-il adopter pour obtenir les résultats recherchés ?

1.5 Informations recherchée

La recherche de l'information sur le thème doit être active et continue. L'étudiant doit être un bon lecteur qui lit de manière continue tant qu'il prépare son mémoire. Les documents doivent être lus et non recopiés tels quels. Demander à son encadreur de guider certaines recherches dans la littérature ou les recommander.

1.6 Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

Il est très utile de rassembler ses connaissances dans le domaine avant de commencer la recherche de documentation. L'étudiant peut par exemple revoir les cours qu'il a étudiés dans le domaine lors des modules de graduation et qui concernent son sujet de mémoire. Les connaissances dans le domaine augmentent avec la recherche documentaire.

Méthodes et astuces pour le chapitre 1

Pour ne pas perdre de temps dans le choix du sujet du mémoire de fin de cycle

- Le rôle que joue l'encadreur est primordial. Toujours consulter son encadreur pour la recherche des informations et pour chaque étape du mémoire.
- Les initiatives de l'étudiant sont louables mais elles ne doivent pas le retarder dans son travail. Il est nécessaire de consulter son encadreur pour chaque initiative nouvelle de la part de l'étudiant qui prépare son mémoire.
- Ne pas oublier que l'on peut prendre un thème industriel au niveau d'une entreprise. Dans ce cas, il est nécessaire d'avoir un bon encadreur au niveau de l'entreprise et de trouver un encadreur à l'université qui accepte de prendre en charge l'étudiant.
- Le choix du thème doit se faire le plus tôt possible.

PARTIE 1

CHAPITRE 2

SELECTIONNER LES SOURCES DE L'INFORMATION

Contenu du chapitre

02 semaines

2.1 Introduction	08
2.2 Types de documents	08
2.3 Types de ressources.....	09
2.4 Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information.....	10
Méthodes et astuces pour le chapitre 2	11

Compétences visées

- Connaître les types de documents à chercher
- Connaître les sources d'information qui existent
- Savoir choisir les documents et les informations à retenir

Mots – clés

Sources d'information – Livres – Publications scientifiques – Actes de conférences – Documents audiovisuels – Bibliothèque – Internet.

2.1 Introduction

La recherche documentaire est une partie essentielle et incontournable du travail de mémoire. Elle permet de collecter le maximum d'informations qui serviront à réaliser le mémoire. Elle permet aussi de situer le travail par rapport aux autres travaux scientifiques effectués antérieurement et ainsi de démontrer l'utilité du mémoire. Elle permet aussi de constituer une base théorique et d'interpréter les résultats.

La recherche documentaire consiste à trouver le maximum d'informations qui existent dans le domaine étudié. Elle consiste à rassembler des livres, des articles scientifiques, des travaux qui concernent l'aspect du problème étudié dans le mémoire. La recherche documentaire peut même parfois répondre à la problématique du sujet.

2.2 Types de documents

La première question que se pose l'étudiant est « comment et où trouver de la documentation ? ». Il existe plusieurs types de documents.

D'abord, il est important d'avoir à sa portée un dictionnaire pour chercher le sens des mots rencontrés dans la littérature surtout si l'étudiant ne maîtrise pas la langue.

2.2.1 Livres

Les mots clés du mémoire permettent à l'étudiant de trouver différents livres sur le sujet. Les livres sont importants car ils contiennent les notions théoriques nécessaires avec en général plus de détails que les articles scientifiques. Il existe des livres en version papier et des livres en version électronique.

2.2.2 Publications scientifiques

Elles permettent de diffuser les informations scientifiques et techniques produites et trouvées par les chercheurs. Ce sont des textes qui sont publiés dans des revues à travers lesquels les chercheurs informent la communauté scientifique des nouveaux résultats qu'ils ont trouvés. Les publications peuvent être nationales ou internationales. Il existe une base de données nationale qui contient toutes les revues scientifiques reconnues en Algérie. Elles sont classées selon leur importance en catégories : exceptionnelle, A+, A, B et C.

Le chercheur qui veut publier soumet son article à une revue scientifique. Un comité de lecture juge son travail et lui envoie soit un refus, soit lui demande de faire quelques corrections ou une acceptation pour que l'article apparaisse dans la revue en question.

Il existe deux principaux types de publications :

- **Articles de recherche** dans lequel sont présentés les résultats d'une recherche.
- **Articles de synthèse** qui sont des articles qui présentent une recherche bibliographique, c'est-à-dire qu'ils contiennent un résumé des travaux effectués par différents chercheurs dans le domaine (état de l'art).

2.2.3 Actes de conférences

Les chercheurs des différentes spécialités se rencontrent régulièrement dans des conférences, colloques, symposiums ...etc. Ces rencontres peuvent être nationales ou internationales. Les chercheurs communiquent les résultats qu'ils ont trouvés lors de ces rencontres soit oralement sous forme de présentation, soit par des posters. Après chaque rencontre scientifique, le comité qui organise cette rencontre diffuse un compte-rendu des communications qui ont eu lieu lors de la session scientifique.

2.2.4 Documents audiovisuels

Il existe des documents audiovisuels sous forme de reportages, vidéos ...etc. qui traite d'un sujet scientifique ou montre le déroulement d'une expérience scientifique. Ces documents peuvent être visualisés et exploités par l'étudiant en master pour la préparation de son mémoire.

2.3 Types de ressources

L'étudiant peut trouver la documentation dans différentes sources.

2.3.1 Bibliothèques

La bibliothèque reste une source d'information importante et fiable bien que peu d'étudiants actuellement s'y intéressent. Il existe une bibliothèque du département de Génie Mécanique, ainsi qu'une bibliothèque périodique qui contient des articles, dictionnaires ...etc. La bibliothèque du département de génie mécanique est riche de centaines de livres dans différentes spécialités. Ces livres sont parfois très récents. **L'étudiant en master doit obligatoirement avoir une carte de lecteur** pour profiter du savoir contenu dans ces livres qui peuvent lui être utiles pour la préparation de son mémoire et lors de sa graduation.

2.3.2 Internet

Internet est actuellement une source non négligeable de documentation. L'utilisation de l'internet est facile et rapide et l'on peut y trouver n'importe quelle information. Il existe aussi différents moteurs de recherche qui aident à trouver les informations en entrant les mots-clés du sujet. Cependant, la recherche documentaire par internet présente quelques inconvénients :

- toutes les informations ne sont pas toujours fiables et vraies. Il faut donc pouvoir les

vérifier avant de les exploiter. Il ne faut pas oublier de filtrer les informations et les vérifier.

- L'étudiant a tendance à « copier coller » le contenu du site sans citer de référence ce qui est considéré comme un plagiat puni par la loi.
- Certains ouvrages et articles sont payants.

En Algérie, l'accès aux articles scientifiques et ouvrages se fait par SNDL (Site National de la Documentation en Ligne). SNDL regroupe des bases de données scientifiques pour les universitaires qui peuvent y accéder gratuitement. Il suffit d'une simple inscription. L'étudiant doit présenter une copie de son attestation d'inscription avec son adresse électronique au service d'informatique de son université, qui l'inscrit et lui envoie un message par e-mail qui contient son identifiant et son mot de passe. L'étudiant pourra alors accéder gratuitement aux bases de données et télécharger les articles dont il a besoin.

2.4 Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

Le problème qui se pose parfois est la quantité trop grande d'informations collectées que l'étudiant n'arrive pas à synthétiser et résumer. Trouver un trop grand nombre de sources et ne pas savoir que faire avec est un problème fréquent. Ceci est le résultat du manque de filtrage et de sélection des informations. Un autre problème qui se pose est de ne pas savoir où trouver l'information.

Il existe quelques astuces simples pour éviter ces problèmes :

- Il n'est pas nécessaire de s'intéresser à toutes les sources sur le sujet. Il ne faut garder que les sources spécifiques à l'aspect recherché. Par exemple, si le thème porte sur le fraisage à vitesse élevée, il est inutile de chercher des informations sur les autres méthodes de fabrication mécanique à vitesse élevée ou sur le fraisage à basse vitesse.
- Il faut savoir filtrer les informations recueillies et ne garder que celles qui ont une relation directe avec le sujet.
- Garder l'essentiel sans se disperser.

La recherche documentaire doit répondre à deux critères :

- Viser les questions posées dans le sujet
- Utiliser les compétences acquises et celles que l'étudiant peut acquérir durant la préparation du mémoire.

Les revues scientifiques les plus sérieuses doivent figurer dans une base de données établie et doivent avoir un comité de lecture.

Il est utile de s'adresser à son encadreur pour vérifier la fiabilité des informations trouvées sur internet.

Pour vérifier la fiabilité d'une information, il suffit de tenir compte des critères suivants :

- connaître l'auteur et l'éditeur de la ressource
- la date de publication du document
- l'adresse URL de la ressource
- les buts du site (sont-ils réellement affichés et conformes à la loi ?)
- quelles sont les compétences de l'auteur ?
- quel est le niveau du public visé ?
- quelles informations sont données ?

Méthodes et astuces pour le chapitre 2

Pour mener à bien la recherche d'informations

- Tenter de commencer une recherche préalable avant même de prendre le thème d'une manière définitive. Certains sujets ne contiennent que de rares sources de documentation.
- Il est important de ne pas se disperser lors de la recherche d'informations.
- Diriger aussi ses recherches vers les ouvrages de base qui fournissent une bonne base de départ et de connaissances théoriques.
- Il est important de consulter son encadreur avant toute recherche ; il fournira quelques documents et donnera des conseils judicieux en dirigeant la recherche car il est plus expérimenté..
- La recherche permet aussi à l'étudiant d'apprendre beaucoup d'informations en parallèle de son sujet de mémoire. Ceci lui sera utile lors de l'interprétation de ses résultats ainsi que lors de la soutenance.

Contenu du chapitre

01 semaine

3.1 Introduction	13
3.2 Techniques de recherche	13
3.3 Opérateurs de recherche	14
Méthodes et astuces pour le chapitre 3	15

Compétences visées

- Connaitre les techniques de recherche
- Connaitre les opérateurs de recherche

Mots – clés

Techniques de recherche – Opérateurs de recherche – Opérateurs booléens – Troncatures ? et \$.

3.1 Introduction

La recherche documentaire doit commencer dès que l'étudiant a son sujet de mémoire et non juste avant de le rédiger. La première étape consiste à chercher les informations de base sur le thème, afin de bien comprendre la théorie. La rédaction de la partie théorique du mémoire peut se faire en même temps que cette étape. L'étudiant doit d'abord avoir une idée sur l'ensemble des méthodes qui existent dans le domaine de son sujet. Puis, il doit pouvoir spécifier les techniques actuelles. La recherche de données empiriques (expérimentales) est essentielle pour pouvoir les comparer à ses résultats numériques afin de valider sa méthode de travail ou de calcul.

3.2 Techniques de recherche

Les techniques de recherche se résument dans les points suivants :

- **Recherche en utilisant les mots-clés :** les mots-clés du travail servent de départ pour la recherche documentaire. C'est une méthode très efficace qui permet de collecter de la documentation relative au sujet. Dans les articles scientifiques, les mots-clés sont toujours spécifiés.
- **Commencer par constituer une base théorique :** quel que soit le type de travail présenté dans le mémoire, théorique, numérique ou expérimental, il est d'abord nécessaire de commencer par se faire une idée précise de la théorie, comprendre les phénomènes et lois de base, les équations qui les gouvernent ainsi que les définitions de base. Cette base théorique est toujours nécessaire comme première étape de travail. Elle se trouve dans les ouvrages scientifiques, d'où la nécessité des bibliothèques.
- **Passer au fur et à mesure à une documentation plus spécifique :** les ouvrages de base contiennent des références d'articles plus spécialisés que l'étudiant doit consulter. Avec le temps, il doit raffiner ses recherches en tendant vers son sujet.
- **Avoir recours aux articles de synthèse :** ces articles reflètent l'état de l'art dans le domaine, c'est-à-dire qu'ils résument les travaux scientifiques les plus importants et les plus récents dans la filière de recherche. Ils sont importants car ils contiennent des références dans le domaine que l'étudiant peut chercher et utiliser. Ils résument et présentent les références notables que l'étudiant peut trouver dans les bases de données.
- **Suivre l'actualité scientifique dans le domaine tout au long de la préparation du mémoire :** de nouveaux articles ou livres peuvent apparaître pendant la préparation du

mémoire. Ces références peuvent contenir de nouveaux résultats. L'étudiant doit surveiller régulièrement toutes les nouveautés dans son domaine de recherche jusqu'à ce qu'il termine la rédaction de son mémoire.

- **Consulter son encadreur pour la recherche documentaire :** l'encadreur peut fournir à son étudiant de la documentation concernant son sujet de recherche. L'étudiant doit consulter son encadreur sur les ouvrages et articles qu'il trouve afin d'éviter de perdre du temps à lire des informations inutiles dans son sujet.

3.3 Opérateurs de recherche

La recherche documentaire se fait dans les bibliothèques et par internet. Les opérateurs utilisés sur les moteurs de recherche internet sont :

3.3.1 Opérateurs booléens

Ce sont :

- **ET** qui représente une recherche très précise.

Exemple 3.1

« *Traitement thermique ET aciers inox* ». La recherche n'est ni sur les traitements thermiques en général ni sur les inox mais sur les deux.

- **OU** qui représente une recherche très large.

Exemple 3.2

« *Moulage OU soudage* ». La recherche est sur le moulage et le soudage. Il y aura beaucoup de résultats.

- **SAUF** qui représente la recherche orientée.

Exemple 3.3

« *Soudage SAUF soudage à l'arc* ». La recherche est sur toutes les techniques de soudage sauf le soudage à l'arc.

3.3.2 Troncature ? et \$

? remplace un caractère dans un mot.

Exemple 3.4

« Acier? » cherchera acier ou aciers.

« Cor?e » cherchera corde ou corne.

\$ remplace plusieurs caractères dans un mot.

Exemple 3.5

« Géo\$ » cherchera Géographie, géographe, géométrie, géomètre, géologie ...etc.

3.3.3 Recherche par expression

Il est possible de rentrer une expression pour une recherche plus précise.

Méthodes et astuces pour le chapitre 3

Pour mener à bien la recherche d'informations

- Les recherches sur internet sont un bon moyen d'obtenir des informations sur le sujet du mémoire.
- Il est important de s'assurer d'avoir un accès internet avec une bonne connexion avant de commencer son travail de mémoire. De plus, l'internet est un moyen rapide de communication avec son encadreur.

PARTIE 1

CHAPITRE 4

TRAITER L'INFORMATION

Contenu du chapitre

02 semaines

4.1 Introduction	17
4.2 Organisation du travail.....	17
4.3 Questions de départ	17
4.4 Synthèse des documents retenus.....	19
4.5 Liens entre différentes parties	19
4.6 Plan final de la recherche documentaire	19
Méthodes et astuces pour le chapitre 4	19

Compétences visées

- Savoir établir un plan de recherche pour son mémoire
- Organiser son travail de mémoire pour ne pas perdre de temps et ne pas se disperser
- Se poser les bonnes questions dès le départ
- Etablir un lien entre les différents documents collectés
- Etablir la synthèse des informations recueillies

Mots – clés

Plan de recherche documentaire – Organisation du travail – Questions de départ – Synthèse des documents retenus.

4.1 Introduction

Après avoir récolté les diverses informations qui concernent le sujet de mémoire, il faut traiter ces informations pour les exploiter au mieux. Cette étape doit être assez rapide car les délais de préparation du mémoire sont parfois courts, d'autant plus qu'il faut se laisser du temps pour la partie pratique ou la partie des calculs qui peut être longue avec parfois des difficultés imprévisibles.

4.2 Organisation du travail

Il est utile d'être bien organisé lors de la collecte d'informations concernant le sujet de mémoire. Il existe quelques petites astuces qui peuvent aider l'étudiant à s'organiser afin de ne perdre ni temps ni information.

- **créer des résumés de la documentation consultée** : chaque fois que l'étudiant lit un article, un livre ou autre, il est utile qu'il écrive un résumé des informations essentielles qu'il a trouvées dans cet ouvrage. La création de fiches concernant chaque source de documentation est très utile.
- **ne pas retenir les résumés qui ne sont pas utiles au sujet de mémoire** : l'étudiant rencontre parfois des informations qui ne sont d'aucune utilité dans son sujet, il est alors inutile qu'il les résume. Cette documentation n'est pas à retenir.
- **classer les documents ou les résumés** : les travaux doivent être classés par thème, aspect du problème ou méthode utilisée suivant le type du sujet.
- **souligner ou mettre en surbrillance les phrases ou les paragraphes importants dans les documents** : ce qui permettra d'attirer l'attention de l'étudiant sur les informations importantes et de ne pas les oublier.

4.3 Questions de départ

Les questions à se poser lors de la recherche documentaire sur chaque source sont les suivantes :

- Qui sont les auteurs de ce travail ?
- Quand ce travail a-t-il été réalisé ?
- Qu'est-ce qui a été fait dans le travail ?
- Comment cela a-t-il été fait ?

- Quels sont les résultats trouvés ?
- Ces résultats sont-ils importants pour mon sujet de mémoire ?

Ces questions serviront à rédiger les résumés plus facilement.

L'étudiant pourra trouver les réponses à ces questions dans les résumés présentés au début de chaque article de recherche et les écrira dans un tableau.

Exemple 4.1

Le résumé d'un article scientifique intitulé « Soudage d'acier Z 2 CN 18-10 par laser CO₂ » dont les auteurs sont : B. Petesch A. Sakout M. Laurent M. Robin dans le Journal de Physique Colloques en 1987 est le suivant :

Résumé : *Le soudage d'un acier Z 2 CN 18 par faisceau laser a été étudié. L'influence des principaux paramètres vitesse, puissance, focalisation a été examinée. Les moyens classiques de caractérisation des soudures ont été utilisés : observations métallographiques forme de la zone fondue, quantité de porosités et énergie absorbée. Le maximum de pénétration correspond au maximum d'énergie absorbée.*

Comment faire le résumé de cet article lors de la recherche documentaire ?

Auteurs	Année	Objectifs du travail	Méthode suivie	Résultats trouvés	Utilité
B. Petesch A. Sakout M. Laurent M. Robin	1987	Etude du soudage d'un acier Z 2 CN 18 par faisceau laser. L'influence des principaux paramètres vitesse, puissance, focalisation	Observations métallographiques, forme de la zone fondue, quantité de porosités et énergie absorbée.	Le maximum de pénétration correspond au maximum d'énergie absorbée	Oui

4.4 Synthèse des documents retenus

Une fois tous les résumés des sources de documentation écrits, il est nécessaire d'en faire la synthèse. Pour cela, il est possible de réunir tous les résumés dans un même tableau et les classer par ordre chronologique. Ceci permet de suivre l'évolution des travaux dans le domaine et de connaître les méthodes des plus anciennes aux plus récentes. Ce tableau permet aussi de retrouver plus facilement les documents qui contiennent des informations que l'on recherche sans être obligé de feuilleter l'ouvrage ou l'article en essayant de se souvenir où l'on a trouvé une information. Cette étape aidera par la suite l'étudiant à rédiger sa bibliographie.

4.5 Liens entre différentes parties

Pour connaître le lien entre les différents documents, il suffit de dresser des tableaux similaires à ceux des résumés dans lesquels on pourra classer les travaux par approche. Ainsi, chaque tableau contient les travaux qui ont utilisé la même approche pour résoudre le problème dans l'ordre chronologique.

4.6 Plan final de la recherche documentaire

Tous les tableaux précédents sont réunis avec les documents consultés pour former une librairie de recherche. L'étudiant consultera l'ensemble de ces documents chaque fois qu'il en aura besoin. Ces consultations sont facilitées par le fait que toutes les informations sont classées. Aucune difficulté à trouver les informations n'apparaîtra.

Il est très important de toujours sauvegarder la documentation et les dans différents supports informatiques.

Méthodes et astuces pour le chapitre 4

1. Importance de la synthèse des documents de recherche

- Peu d'étudiants donnent une importance à la synthèse des informations trouvées. Pourtant, cette étape est primordiale. Elle facilite grandement la recherche d'une donnée particulière et fait gagner du temps.
- Cette étape sert aussi lors de la rédaction des chapitres théoriques.

2. Importance de la sauvegarde des documents de recherche

- La sauvegarde de la documentation recueillie est d'une grande importance
- La sauvegarde doit s'effectuer d'une façon permanente, périodiquement, à la fin de chaque étape de recherche
- La sauvegarde doit se faire sur des supports informatiques comme les disques amovibles ou les disques durs amovibles.
- Prévoir d'acquérir ce type de matériel avant de commencer son travail de mémoire.

PARTIE 1
CHAPITRE 5

**PRESENTATION DE
LA BIBLIOGRAPHIE**

Contenu du chapitre

01 semaine

5.1 Introduction	22
5.2 Systèmes de présentation d'une bibliographie	22
5.3 Présentation des documents	23
5.4 Citation des sources	23
Méthodes et astuces pour le chapitre 5	24

Compétences visées

- Savoir rédiger une bibliographie selon les normes
- Savoir citer les références bibliographiques dans le texte du mémoire

Mots – clés

Références bibliographiques – Citation des sources – Système de Harvard – Système Vancouver.

5.1 Introduction

La bibliographie ou les références bibliographiques est une liste ordonnée de toute la documentation utilisée dans le mémoire. La bibliographie est en général à la fin du mémoire, avant les annexes. Elle peut être aussi placée à la fin de chaque chapitre pour citer les références utilisées dans ce chapitre. La bibliographie doit être précise, claire, simple et complète. Elle doit **permettre au lecteur de retrouver le document signalé**.

5.2 Systèmes de présentation d'une bibliographie

Il existe trois façons de citer des références **dans le texte du mémoire**.

5.2.1 Système de Harvard ou système alphabétique

Dans le texte, l'auteur est cité entre parenthèses suivi d'une virgule puis de l'année de parution du document.

Les travaux cités seront détaillés de manière complète, par ordre alphabétique et non numérotés, dans une section qui se trouvera à la fin de l'article, nommée bibliographie. Ce système est utilisé en début de rédaction car il est très facile.

Exemple 5.1

« Cette méthode de calcul numérique a été mise au point par (Kutz, 2004). »

5.2.2 Système Vancouver ou numérique

Les références sont numérotées en chiffres arabes dans le texte selon l'ordre de leur apparition dans le mémoire. Quand une référence est citée plusieurs fois, elle garde la même numérotation. Dans la section bibliographie, les références sont listées dans l'ordre numérique. Ce système est souvent utilisé dans les documents en langue anglaise.

Exemple 5.2

« Cette méthode de calcul numérique a été mise au point par [4]. »

5.2.3 Système mixte

Les références sont notées par ordre alphabétique dans la section bibliographie et appelées selon cette numérotation dans le texte. Ce système est le plus pratique à la lecture mais plus difficile à la rédaction. Il est utilisé dans les revues en langue française.

5.3 Présentation des documents

Quand une information qui figure dans le texte du mémoire est tirée d'un document ou quand une phrase entière est recopiée d'un document de recherche, il est nécessaire de le préciser dans le texte du mémoire juste après l'information ou la phrase en question. Dans le cas contraire, le texte sera considéré comme volé et son auteur peut être puni par la loi.

La règle la plus importante est que tous les documents cités dans le texte doivent être facilement identifiables par le lecteur à partir des références bibliographiques.

Une référence bibliographique :

- varie selon le type (ouvrage, articles, congrès...) et le support (papier, en ligne, CD-ROM...) du document.
- est constituée d'éléments (auteur, titre, édition...) indispensables au bon signalement. Ces éléments doivent respecter un ordre précis.
- doit être présentée de façon homogène dans le style choisi pour chaque élément.
- Respecter les règles du traitement de texte : pas d'espace avant le **point** et la **virgule**, mais un espace après, un espace avant et après le **point-virgule** et le **deux-points**, pas de **majuscule** ou d'**abréviation** non justifiées.

5.4 Citation des sources

La citation doit être écrite selon la norme Z 44-005.

- **Publications** : NOM Prénom. Titre de l'article. Titre du périodique, année de publication, volume, fascicule, numéro, pagination.
- **Conférences** : Intitulé du congrès (n° de la session ; année de la session ; Lieu du congrès). Titre du congrès. Ville d'édition : Editeur, année d'édition, nombre de pages.
- **Livres** : Nom de l'auteur et initiale de son prénom. Titre du livre. Edition, pays, année.
- **Thèses et mémoires** : NOM Prénom. Titre de la thèse. Discipline. Lieu de soutenance : Université de soutenance, année de soutenance, nombre de pages.
- **CD-ROM** : AUTEUR. Titre [CD-ROM] Lieu d'édition : Editeur, année de publication.
(l'indication CD-ROM est obligatoire).

- **Sites internet :** AUTEUR (ou organisme). Titre de la ressource. *[S'il y a lieu, ajouter la ressource plus large à laquelle le document cité est rattaché ; procéder de la façon suivante : In AUTEUR. Titre du site ou du document qui contient la ressource] [en ligne]. Disponible sur : <URL>. (date de consultation)*
- **Brevets d'invention :** AUTEUR (Inventeur). Titre du brevet. Numéro du brevet. Date du brevet.

Méthodes et astuces pour le chapitre 5

Méthode pour n'oublier aucune référence bibliographique et mieux s'organiser pour les références

- Puisqu'il est très important de citer toutes les références bibliographiques, une méthode simple permet de n'en oublier aucune : pendant la rédaction, écrire le nom de la référence en caractère gras ou coloré dans le texte. A la fin, classer ses références dans la section bibliographie.
- Toujours commencer par utiliser le système de Havard pendant la rédaction, puis passer au système de Vancouver si nécessaire.

PARTIE 2

CONCEPTION DU MEMOIRE

PARTIE 2
CHAPITRE 1

**PLAN ET ETAPES
DU MEMOIRE**

Contenu du chapitre

02 semaines

1.1 Introduction	27
1.2 Résumé et mots – clés	27
1.3 Remerciements et dédicaces	27
1.4 Tables des matières ou sommaire	28
1.5 Nomenclature et abréviations	28
1.6 Introduction générale	28
1.7 Synthèse bibliographique	28
1.8 Méthodologie	29
1.9 Résultats et discussions	29
1.10 Conclusions et perspectives	29
1.11 Bibliographie	29
1.12 Annexes	30
Méthodes et astuces pour le chapitre 1	30

Compétences visées

- Prendre connaissance des parties que doit contenir un mémoire dans l'ordre

Mots – clés

Introduction générale – Résumé – Mots – clés – Remerciements et dédicaces – Tables des matières – Nomenclature – Synthèse bibliographique – Conclusions et perspectives – Annexes.

1.1 Introduction

Chaque mémoire doit contenir un certain nombre de sections ou parties que l'étudiant doit respecter. Chacune de ses sections apparaît suivant un ordre bien défini et la totalité donne un travail harmonieux. Une des erreurs communes de l'étudiant est de privilégier le nombre de pages à la qualité du mémoire. Il faut donc n'écrire que l'essentiel et ne mentionner que les informations utiles.

1.2 Résumé et mots - clés

Le résumé est très important dans un mémoire car il résume tout le travail présenté. Sa lecture permet de s'intéresser ou pas au mémoire. Il comporte l'essentiel du travail. Son rôle est de :

- Clarifier le titre
- Montrer la contribution de l'étudiant dans le domaine
- Aider le lecteur à prendre la décision de lire ou de ne pas lire le mémoire.
- Donner des informations rapidement au lecteur.

Le résumé se compose de quatre parties :

- Problème ou sujet du mémoire
- Comment le problème est résolu.
- Résultats les plus importants
- Utilité du travail

Le résumé se termine par la liste des mots – clés. Ce sont les termes les plus importants du mémoire. Leur rôle est d'orienter la recherche dans le domaine pour les personnes qui consultent le mémoire une fois soutenu.

Le résumé doit être écrit au présent. Il doit être écrit en **Français** et traduit en **Arabe** et en **Anglais**.

1.3 Remerciements et dédicaces

C'est une partie qui n'est pas obligatoire. L'étudiant peut sur une page mentionner les personnes auxquelles il dédie son travail. C'est une mention purement personnelle. Les remerciements sont laissés à l'appréciation de l'étudiant pour l'aide reçue de certaines personnes comme les professeurs, les entreprises ...etc.

1.4 Tables des matières ou sommaire

C'est la liste de tous les chapitres, titres et sous-titres avec le numéro de page de leurs débuts. Il est conseillé de ne pas mentionner tous les sous-titres et sous-sous-titres s'ils sont trop nombreux.

1.5 Nomenclature et abréviations

La liste des grandeurs, indices, exposants et abréviations est présentée avec leur signification. Les unités peuvent être ajoutées.

1.6 Introduction générale

L'introduction générale permet de rentrer dans le sujet du mémoire. Elle doit être simple et claire et captiver le lecteur. Elle peut parfois commencer par une phrase frappante comme « la pollution tue la planète ». Elle comporte les éléments suivants :

- Importance du sujet
- Actualité du sujet
- Différents aspects du sujet
- Objectifs du mémoire
- Méthodologie
- Annonce du plan du mémoire.

L'introduction générale doit être rédigée à la fin du mémoire.

1.7 Synthèse bibliographique

La synthèse bibliographique est le résumé des travaux les plus importants qui ont été effectués dans le domaine. Sa fonction est :

- de montrer que l'étudiant s'est beaucoup documenté lors de la préparation de son projet
- de montrer que l'étudiant a bien compris la théorie de son sujet
- de situer le travail fait dans le mémoire par rapport aux autres travaux dans le domaine

Les travaux qui doivent être choisis par l'étudiant pour qu'ils soient mentionnés dans la synthèse bibliographique doivent soit :

- être dans la théorie du sujet et soutenir l'idée du mémoire
- être en relation directe avec le thème
- mettre le mémoire dans un contexte actuel
- définir la recherche actuelle dans le domaine.

1.8 Méthodologie

Dans cette section, la méthode de travail est exposée en détail. Il faut préciser :

- La raison du choix de la méthode
- Décrire le banc d'essai ou le domaine de calcul ainsi que la méthode de calcul
- Pourquoi certaines possibilités ont été rejetées
- Les moyens utilisés.

1.9 Résultats et discussions

L'étudiant doit d'abord discuter avec son encadreur des résultats à présenter. Les résultats doivent être présentés sous forme de graphes, histogrammes ... clairs et lisibles, pas trop petits par exemple. S'ils sont en couleur, l'impression doit être de bonne qualité. Ne jamais oublier de préciser dans les graphes les grandeurs représentées sur les deux axes et l'échelle.

Les commentaires sont la partie la plus importante du sujet que les étudiants ont tendance à négliger. En effet, l'étudiant doit prendre le temps suffisant pour les faire. Les graphes ou schémas doivent être discutés individuellement en suivant ces étapes :

- décrire l'allure générale (la courbe augmente avec le temps)
- expliquer les phénomènes et leur donner une raison
- faire référence aux travaux précédents pour les explications.
- Conclure avec un aspect positif.

1.10 Conclusions et perspectives

La conclusion générale doit être rédigée à la fin. Elle contient :

- le rappel des objectifs et de la méthodologie du travail
- les principaux résultats
- les efforts effectués, l'originalité du travail
- les prolongements possibles du mémoire.

1.11 Bibliographie

La bibliographie doit contenir toute la documentation utilisée dans la préparation du mémoire. Elle est présentée à la fin du mémoire.

1.12 Annexes

Les annexes sont facultatives. Elles contiennent des documents qui ont été utiles ou même nécessaires à la réalisation du mémoire mais qui alourdiraient le texte comme par exemple :

- des tableaux avec un grand nombre de chiffres
- des documents officiels, textes de loi ...etc.
- des documents techniques complémentaires.

Méthodes et astuces pour le chapitre 1

1. Comment organiser sa rédaction et gagner du temps

- La rédaction doit être entamée vers la fin du mémoire, quand l'étudiant a une meilleure idée globale et plus précise de l'ensemble de son travail.
- Le plan de rédaction doit être discuté au préalable avec l'encadreur.
- Afin de gagner un temps précieux, il est préférable de commencer à rédiger son mémoire directement en suivant le modèle de rédaction exigé par le département de génie mécanique (mise en forme, caractères ...etc). Ceci évitera de revenir sur le texte pour le modifier, ce qui prend beaucoup de temps.
- Utiliser les options de mise en forme directe.

2. Impression du mémoire

- Une fois terminé, le mémoire doit être imprimé.
- Une correction de la part de l'encadreur est nécessaire avant cette étape.
- La pré-impression permet de mieux visualiser sur papier les défauts et oublis dans le mémoire.
- Imprimer le mémoire page par page en vérifiant les erreurs.
- La qualité de l'impression doit être bonne, les textes bien lisibles et les figures et couleurs de bonne qualité.
- Le temps prévu pour l'impression doit être suffisant et pris en compte dans le planning de préparation du mémoire. Il peut parfois durer quelques jours.
- Vérifier rigoureusement chaque copie du mémoire page par page avant et après la reliure (ordre des pages, lisibilité ...etc.).

PARTIE 2

CHAPITRE 2

TECHNIQUES ET NORMES DE REDACTION

Contenu du chapitre

02 semaines

2.1 Introduction	32
2.2 Rédaction, langue scientifique, style, grammaire et orthographe	32
2.3 Mise en forme du mémoire	33
2.4 Sauvegarder, sécuriser et archiver ses données	33

Compétences visées

- Rédiger son mémoire de la façon correcte du point de vue linguistique, style, grammaire et orthographe.

Mots – clés

Rédaction – Langue – Style – Orthographe – Grammaire – Mise en forme du mémoire.

2.1 Introduction

Un mémoire de bonne qualité et un mémoire qui est bien rédigé. Le manuscrit est à l'image de l'étudiant. Actuellement, peu d'étudiants donnent une importance à la rédaction de leurs mémoires. Ils se contentent de faire du « copier coller » de l'internet. Ceci reflète une très mauvaise image d'eux. La rédaction doit se faire en parallèle des autres étapes pour ne pas être pris de court par les délais.

Il existe actuellement au niveau de la Faculté de Génie Mécanique un modèle de rédaction des Projets de Fin de Cycle pour les licences et masters que les étudiants doivent respecter, sinon, leurs mémoires ne pourront pas être acceptés.

2.2 Rédaction, langue scientifique, style, grammaire et orthographe

Un plan doit être dressé avant de commencer la rédaction. Il est utile de commencer à écrire par parties tout au long de la préparation du mémoire. La pré-écriture facilite la rédaction finale. On commence par décider des parties qui doivent constituer le mémoire et de les classer.

Ensuite, il faut rédiger le mémoire de son mieux en :

- Faisant apparaître les objectifs et les utilités du travail clairement dès les premiers paragraphes
- Ecrire d'une manière claire et simple
- Donner clairement les définitions des mots-clés du mémoire
- Ne jamais oublier que le mémoire est adressé aux lecteurs qu'il faut attirer et persuader
- Ne pas écrire de phrases trop longues
- Ecrire à la voix active et non passive
- Comprendre tout ce que l'on écrit
- Relire en permanence ce que l'on écrit pour corriger ou apporter des modifications
- Montrer le manuscrit à son encadreur ainsi qu'à des personnes qualifiées dans le domaine pour qu'elles émettent leur avis
- Vérifier la grammaire et l'orthographe ou faire vérifier par des personnes compétentes.

L'étudiant peut aussi contacter un enseignant de langues pour l'aider à corriger ses fautes.

La ponctuation est très importante. Elle peut changer le sens des phrases. Il faut faire attention à la ponctuation et la respecter.

Un mémoire plein de fautes donne une très mauvaise image de l'étudiant. Ce dernier doit faire l'effort de corriger et de se faire aider dans ce sens.

2.3 Mise en forme du mémoire

Le modèle de rédaction du mémoire établi à la Faculté de Génie Mécanique de l'USTO doit être respecté par les étudiants au risque de voir leur travail rejeté.

2.4 Sauvegarder, sécuriser et archiver ses données

Sauvegarder et sécuriser tous les documents utilisés pour la préparation du mémoire, les classer et archiver est une action nécessaire qui évite de perdre les informations ou d'avoir des problèmes de dernier moment. Il est donc judicieux de sauvegarder les documents sur différents supports : ordinateur, clé USB, disque dur amovible, gravure sur DVD...etc.

Sauvegarder les documents doit se faire régulièrement sans attendre d'en recueillir un grand nombre.

PARTIE 2

CHAPITRE 3

ATELIER

Contenu du chapitre

01 semaine

3.1 Introduction	35
3.2 Présentation du modèle de rédaction du mémoire en vigueur dans le Département de Génie Mécanique	35

Compétences visées

- Prendre connaissance du modèle de mémoire de fin de cycle en vigueur au niveau du Département de Génie Mécanique

Mots – clés

Modèle du mémoire de fin de cycle en vigueur au Département de Génie Mécanique.

3.1 Introduction

Le Département de Génie Mécanique a adopté, après approbation de ses instances scientifiques et pédagogiques, un modèle harmonisé de rédaction des mémoires de fin de cycle. Ce chapitre contient tous les détails de ce modèle. Les étudiants qui ne respectent pas rigoureusement ce modèle verront leurs manuscrits refusés et ne pourront donc pas soutenir leur mémoire.

3.2 Modèle de rédaction du projet de fin de cycle en vigueur au Département de Génie Mécanique



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF

Faculté de Génie Mécanique
Département de Génie Mécanique

PROJET DE FIN DE CYCLE

Pour l'obtention du diplôme de master en Génie Mécanique
Option Construction mécanique

Titre du Projet de Fin de Cycle

Réalisé par

Nom et prénom de l'encadreur

Sous la direction de

Noms et prénoms des candidats

Soutenu le devant le jury

NOM et Prénom du président	Grade	Qualité
NOM et Prénom du 1 ^{er} examinateur	Grade	Qualité
NOM et Prénom du 1 ^{er} examinateur	Grade	Qualité
NOM et Prénom de l'encadreur	Grade	Qualité

Année universitaire

Une page blanche doit être laissée entre la page de garde et le reste du mémoire.

Abstract

Un résumé du travail en Anglais est souhaitable mais pas obligatoire. Ce résumé est la traduction du résumé en Français de la page suivante.

Il doit comporter le contexte, la démarche ainsi que les principaux résultats du mémoire. Ce résumé doit être d'environ 15 lignes maximum et doit être au milieu de la page.

Le titre du résumé est en caractères *Georgia* 18 gras. Le résumé est en caractères *Times New Roman* 11

Keywords

Les mots-clés du mémoire en Anglais doivent être cités à la fin du résumé et dans la même page que ce dernier. Ne pas dépasser 10 mots-clés séparés d'un tiret. La page du résumé n'est pas numérotée. Le titre Mots-clés est en caractères *Georgia* 12 gras et les mots-clés en *Times new roman* 11. Un espace important est laissé entre l'Abstract et Keywords.

Exemple :

Internal combustion engine – Efficiency - Torque.

Résumé

Un résumé du travail en Français doit être présenté. Il doit comporter le contexte, la démarche ainsi que les principaux résultats du mémoire. Ce résumé ne doit pas dépasser 15 lignes et doit être au milieu de la page. La page du résumé n'est pas numérotée.

Le titre du résumé est en caractères *Georgia* 18 gras. Le résumé est en caractères *Times New Roman* 11.

Mots-clés

Les mots-clés du mémoire en Français doivent être cités à la fin du résumé et dans la même page de ce dernier. Ne pas dépasser 10 mots-clés séparés d'un tiret. La page du résumé n'est pas numérotée. Le titre Mots-clés est en caractères *Georgia* 12 gras et les mots-clés en *Times new roman* 11. Un espace important est laissé entre le résumé et les mots-clés. Exemple :

Moteur à combustion interne – Rendement – Charge

ملخص

الكلمات المفتاحية

Remerciements

Les remerciements ne sont pas obligatoires. Cette page n'est pas numérotée. Le titre des remerciements est en caractères *Georgia* 18 gras et le texte en *Times new roman* 12.

Dédicace

La dédicace n'est pas obligatoire. Cette page ne doit pas être numérotée. Le titre

Dédicace est en caractères *Georgia* 18 gras et le texte en *Times new roman* 12.

Table des matières

La table des matières ou sommaire doit être numéroté en chiffres romains minuscules (i, ii, iii, iv ...). Les principaux titres et les titres des chapitres sont en caractères *Georgia 12*, les sous- titres en *Times new roman 12*.

Nomenclature	ii
Liste des Figures	iii
Liste des Tableaux	iii
Introduction générale	01
Chapitre 1 Rédaction d'un projet de fin de cycle	04
1.1 Introduction	04
1.2 Titres et sous-titres	06
1.3 Figures	
1.4 Tableaux	
1.5 Equations	
1.6 Remarques générales	
Conclusion générale	99
Références bibliographiques	101

Nomenclature

La nomenclature comporte les principaux symboles et abréviations utilisés dans le mémoire. Elle doit être numérotée en chiffre romains minuscules à la suite de la table des matières. Les unités s'il y en a doivent être précisées. Le titre Nomenclature est en caractères *Georgia* 18 gras et les titres comme Symboles latins en *Georgia* 12. Les grandeurs et unités sont en *Times new roman* 12. Les symboles et unités doivent être en italique. La nomenclature doit être rédigée de la manière suivante :

Symboles latins

<i>a</i>	Vitesse du son	$m.s^{-1}$
<i>c_p</i>	Capacité calorifique spécifique à pression constante	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
<i>Re</i>	Nombre de Reynolds	

Symboles grecs

λ	Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$
σ	Constante de Stefan-Boltzmann égale à 5.669×10^{-8}	$W.m^{-2}.K^{-4}$

Indices

<i>ext</i>	Externe
<i>i</i>	Initial

Exposants

<i>0</i>	Correspondant à la température de référence
<i>t</i>	Correspondant à l'instant <i>t</i>

Abréviations

<i>DTLM</i>	Différence des Températures Logarithmiques Moyennes
<i>RDM</i>	Résistance des Matériaux

Liste des figures

La liste des figures doit contenir toutes les figures du mémoire avec la pagination qui leur correspond. Elle doit être numérotée en chiffre romains minuscules à la suite de la nomenclature. Le titre est en *Georgia* 18 gras et le texte en *Times new roman* 12.

Figure 1.1.	Moteur à combustion interne	07
Figure 1.2.	Moteur Diesel	08
Figure 2.1.	Constitution d'un moteur Diesel.....	14

Liste des tableaux

La liste des tableaux doit contenir tous les tableaux du mémoire avec la pagination qui leur correspond. Elle doit être numérotée en chiffre romains minuscules à la suite de la liste des figures. Elle peut figurer sur la même page que la liste des figures. Le titre est en *Georgia* 18 gras et le texte en *Times new roman* 12.

Tableau 1.1.	Rendements moyen d'un moteur selon le type	15
Tableau 3.1.	Température maximale en fonction de la charge	23

Introduction générale

L'introduction générale doit comporter au moins une page pour les mémoires de licence et plus d'une page pour les mémoires de master. Elle présente le contexte du travail, les objectifs et les moyens de réalisation ainsi que le contenu du mémoire. C'est à partir de cette page que la numérotation en chiffres arabes commence. Le titre est en caractères gras *Georgia* 18 et le texte en *Times new roman* 12.

CHAPITRE 1

REDACTION D'UN PROJET DE FIN DE CYCLE

Le titre et numéro de chaque chapitre doit être au début du chapitre en question en caractères *Georgia 22* gras, aligné à gauche. Les pages entre les chapitres ne sont donc pas nécessaires et ne doivent pas figurer. Le numéro du chapitre doit être en chiffres arabes. Il est souhaitable qu'un sommaire pour chaque chapitre figure en premier. Cela donne plus de facilité au lecteur. En plus, l'étudiant qui rédige son mémoire pourra assembler tous les sommaires des débuts de chapitres pour constituer ensuite la table des matières plus facilement.

1.1 Introduction	01
1.2 Titres et sous-titres	01
1.3 Figures	03
1.4 Tableaux	04
1.5 Equations	05
1.6 Remarques générales	05

1.1 Introduction

Il est souhaitable que chaque chapitre commence par une introduction.

1.2 Titres et sous-titres

Les titres sont en caractères *Georgia* 14 gras. Ils sont numérotés comme suit : le 1^e numéro est celui du chapitre, le 2^e celui de l'ordre du titre.

Exemple : s'il s'agit du 3^e titre du chapitre 1, alors il portera la numérotation :

1.3. Un espace est laissé entre le titre et le texte qui le suit.

1.2.1 Sous-titre 1

Les sous-titres sont en caractères *Georgia* 13. Le texte en *Times new roman* 12.

1.2.2 Sous-titre 2

Les sous-titres sont en caractères *Georgia* 13. le texte en *Times new roman* 12.

1.2.2.1 1^e sous-titre 2

Les sous- titres du niveau 2 sont en caractères *Georgia* 12. Le texte en *Times new roman* 12.

1.2.2.2 2^e sous-titre 2

1.3 Figures

Les figures doivent être dans la langue utilisée pour rédiger le mémoire. Par exemple, dans un mémoire rédigé en Français, toutes les figures doivent être en Français. La traduction est nécessaire quand la référence contient des informations dans une autre langue que celle de la rédaction du mémoire. La référence de chaque figure doit être citée si elle existe. Son numéro est entre crochets après le titre.

Les figures sont numérotées comme les titres : pour la 4^e figure du chapitre 2, la figure est numérotée 2.4. Le titre doit être en caractères *Times new roman* 12 centré avec le mot Figure et son numéro en gras, séparés d'un espace du titre (ne pas mettre deux points).

Les informations contenues dans les graphes doivent être claires et lisibles. Les axes doivent être bien définis et les unités mentionnées.

Exemples de figures :

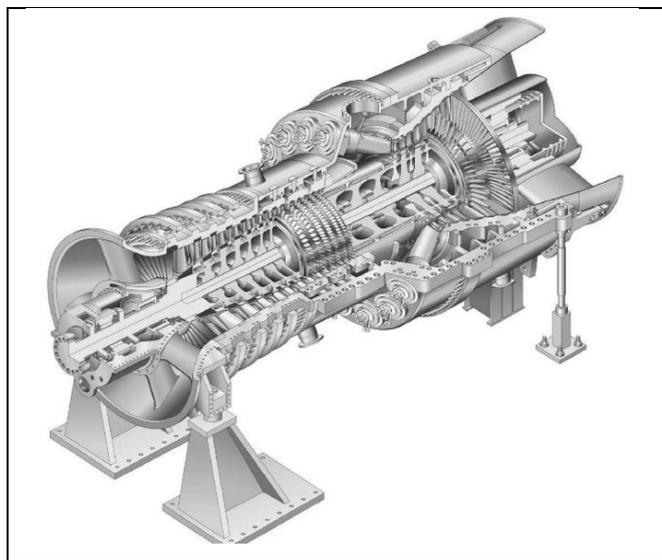


Figure 2.4 Turbine à gaz [1]

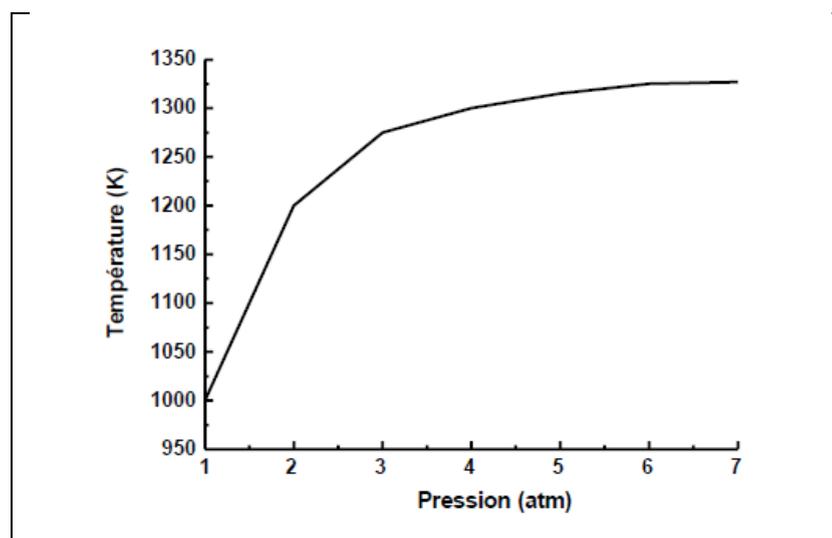


Figure 4.5 Variation de la température en fonction de la pression

1.4 Tableaux

Les tableaux doivent être dans la langue utilisée pour rédiger le mémoire. La référence de chaque tableau doit être citée si elle existe. Son numéro est entre crochets après le titre.

Les tableaux sont numérotés comme les titres : pour le 1^e tableau du chapitre 4, le tableau est numéroté 4.1. Le titre doit être en caractères *Times new roman* 12 centré avec le mot Tableau et son numéro en gras, séparés d'un espace du titre (ne pas mettre deux points). Le titre est écrit au-dessus du tableau.

Exemple :

Tableau 4.1 Variation de la température en fonction de la pression

Pression d'entrée (atm)	Température (K)
1	1000
2	1200
3	1275
4	1300

1.5 Equations

Les équations doivent être écrites avec un éditeur d'équations (celui du Word ou Mathtype par exemple). Il faut que les caractères soient homogènes avec le texte du mémoire (pas d'équations trop grandes, trop petites ou floues). Les équations sont numérotées comme les figures et les tableaux. La numérotation doit figurer à la fin de la ligne de l'équation entre parenthèses. Un espace est laissé avant et après chaque équation.

Exemple : pour la 2^e équation du chapitre 4, on écrit :

$$PV = nRT \quad (4.2)$$

1.6 Remarques générales

1. Tout le texte du mémoire doit être rédigé avec un interligne de 1,5. Les marges sont de

2,5 cm en bas, en haut, à gauche et à droite de la page.

2. Les en-têtes sont en haut des pages, en caractères *Times new roman* 10 ou 11, soulignés.
3. Les numéros de pages sont en bas de page, alignés à droite, en caractères *Times new roman* 12 gras.
4. Il faut éviter de mettre deux points après chaque titre.
5. Éviter les articles en début des titres. Par exemple, au lieu d'écrire dans un titre : *Les généralités sur les moteurs*, il faut écrire *Généralités sur les moteurs*.
6. Il est conseillé d'éviter de surcharger les figures avec trop de couleurs ou d'informations
7. L'étudiant qui rédige son mémoire doit faire attention aux fautes. Il faut veiller à corriger tout le texte, les équations ainsi que toutes les formules du mémoire.
8. Le « copier coller » est interdit et sanctionné si la référence n'est pas citée.

Conclusion générale

Dans la conclusion générale du mémoire, l'étudiant doit revenir sur tout le contenu de son mémoire brièvement. Il doit retracer toutes les étapes suivies dans la réalisation de son travail. Il doit conclure en résumant les résultats qu'il a trouvés et préciser leur intérêt dans le domaine pratique. Il peut également citer quelques perspectives qui pourraient représenter la continuité de son mémoire dans le futur.

La conclusion générale doit comporter au moins une page pour les mémoires de licence et plus d'une page pour les mémoires de master. Le titre est en caractères gras *Georgia* 18 et le texte en *Times new roman* 12.

Références bibliographiques

Les références bibliographiques sont les ouvrages, articles et sources d'information utilisés par l'étudiant dans son travail. Les références portent un numéro entre crochets selon l'ordre de leur apparition dans le mémoire. Le titre est en caractères gras *Georgia* 18 et le texte en *Times new roman* 12.

Les références doivent être écrites de la manière suivante :

- s'il s'agit d'un livre :

[numéro de la référence] Nom de l'auteur et initiale de son prénom. *Titre du livre en italique*. Edition, pays, année.

Exemple :

[4] Gibaut A, Henry M. *Mécanique du point*. Dunod, 2^e édition, France, 2007.

- S'il s'agit d'un article ou publication scientifique :

[numéro de la référence] Noms des auteurs selon l'ordre et initiales de leurs prénoms. *Titre de l'article en italique*. Revue, volume, pages, année.

Exemple :

[4] Albin I, Duprès S, Harmen T. *Etude thermique d'un moteur à combustion interne*.
Revue

Internationale de Mécanique et Thermique, vol. 15, pp : 157-175, 2015.

- S'il s'agit d'un site internet, le lien doit être précisé. Exemple :

[4] <http://www.constructionmecanique.com>

Annexes

Dans certains mémoires, des annexes sont nécessaires pour fournir certaines données. Les annexes sont numérotées comme suit :

Annexe 1

Annexe 2

Contenu du chapitre

01 semaine

4.1 Introduction	58
4.2 Préparation de la soutenance	58
4.3 Préparation du support visuel ou diapositives	59
4.4 Avant la soutenance	60
4.5 Le jour de la soutenance	60
Méthodes et astuces pour le chapitre 4	61

Compétences visées

- Bien préparer sa soutenance en tenant compte des délais et apprendre à gérer son stress
- Préparer ses diapositives de présentation avec soin
- Gérer son planning d'avant la soutenance ainsi que le jour de la soutenance
- Présenter correctement son travail de mémoire

Mots – clés

Soutenance du mémoire de fin de cycle – Diapositives ou support visuel – Présentation – Gestion de la soutenance.

4.1 Introduction

La soutenance est obligatoire en fin de cycle de master. Elle doit être préparée avec grand soin car c'est un moment important sur le plan des études, personnel et professionnel. La soutenance orale n'est pas une formalité et la note qu'obtiendra l'étudiant en dépend. Les membres du jury qui ont lu le mémoire ont déjà une idée positive ou négative du candidat. Cette idée peut évoluer pendant la soutenance. Il n'est pas rare de voir un étudiant qui a été moyen dans son cursus briller lors de sa soutenance et avoir une très bonne note.

Sur le plan pédagogique, l'objectif de la soutenance est de vérifier :

- La capacité à exposer oralement et clairement un travail
- La capacité à répondre aux questions des membres du jury.

4.2 Préparation de la soutenance

Préparer sa soutenance n'est pas une chose facile, vu le stress et la pression des délais. Quelques conseils sont à suivre.

4.2.1 Relire son mémoire

Le mémoire doit être relu par le candidat qui peut noter les idées importantes et les omissions. Il faut revenir sur certaines définitions de base qui peuvent être demandées lors de la soutenance.

Les questions typiques auxquels le candidat doit s'attendre sont :

- Quel aspect du problème vous a paru le plus difficile ?
- Pouvez-vous nous en dire plus sur ... ?
- Quel est l'intérêt pratique de votre travail ?
- Comment ce travail peut-il être développé dans le futur ?
- Quelles sont les conclusions les plus importantes pour vous ?

4.2.2 Relever les erreurs produites dans le mémoire

Si l'étudiant découvre des erreurs dans son mémoire, il peut les corriger, les imprimer et en donner une copie aux membres du jury avant la soutenance.

4.2.3 Connaitre les références utilisées

Avoir en mémoire les références les plus importantes, comme celles utilisées pour la validation ou celles qui contiennent le modèle ou la méthode de travail adoptés.

4.2.4 Préparer ses diapositives avec soin

4.2.5 Faire une pré – soutenance avec son encadreur

La pré – soutenance doit être faite avec l'encadreur, en présence de quelques personnes parmi les enseignants ou les étudiants pour mieux simuler l'ambiance de la soutenance réelle. Il est souhaitable que les personnes présentes lors de la pré-soutenance posent des questions au candidat pour qu'il s'entraîne à y répondre et attirent son attention sur les points à refaire ou à améliorer.

La pré-soutenance permet aussi de vérifier si la durée de l'exposition du travail n'est pas trop longue. Elle doit se dérouler en projetant les diapositives sur datashow pour vérifier leur qualité (lisibilité, couleurs ...etc).

4.3 Préparation du support visuel ou diapositives

Il est habituel de préparer de préparer des diapositives à l'aide du logiciel Powerpoint. Il faut prévoir environ 1 min/diapositive. Le Président du jury donne en général au candidat environ 15 à 20 min pour exposer son travail.

La présentation orale comprend généralement :

- Une petite introduction sous forme de points et non de texte
- Rappel de l'objectif du mémoire
- Synthèse de quelques travaux antérieurs
- Présentation de la méthodologie ou du déroulement du travail
- Principaux résultats
- Conclusion sous forme de points
- Perspectives sous forme de points.

Les diapositives doivent être claires, pas trop chargées et lisibles. Il existe quelques conseils pour des diapositives réussies :

- Eviter les arrière-plans chargés
- Eviter les animations spectaculaires
- Contraster les couleurs de l'arrière-plan et de l'écriture

- Ecrire en caractères lisibles
- Utiliser les caractères gras pour plus de lisibilité.
- Eviter d'écrire du texte et de le lire. Il faut écrire des points et le développer oralement
- Ne pas respecter l'ordre des chapitres tels qu'ils sont dans le mémoire.
- Eviter d'utiliser les mots « chapitres » pour désigner les parties de la présentation
- Les commentaires doivent être dits par l'étudiants et non écrits sur la diapositive et lus
- Des commentaires sous forme de points peuvent être mis à côté des figures et non sur la diapositive suivante
- Eviter de recopier des paragraphes entiers du mémoire
- Les figures doivent être claires et lisibles
- Commencer par une page de garde
- Numéroté les diapositives.
- Ne jamais oublier que la projection est destinée au public.

4.4 Avant la soutenance

L'étudiant doit vérifier qu'il possède une version imprimée de son mémoire qu'il pourra garder devant les yeux pour la consulter à la demande des membres du jury si nécessaire.

L'étudiant doit vérifier à l'avance le matériel informatique dont il a besoin. Il doit vérifier le câblage, copier sa présentation sur support informatique (CD ou clé USB) qu'il prendra avec lui le jour de la soutenance. Il doit aussi se munir de son ordinateur portable et vérifier si les entrées et ports sont compatibles avec l'appareil de projection.

4.5 Le jour de la soutenance

Le jour de la soutenance est toujours une journée mémorable dans la vie d'un étudiant. Un grand stress peut être évité grâce à une bonne préparation. Arriver en avance contribue à mettre en place le matériel et éviter un stress supplémentaire.

Pendant la présentation orale, l'étudiant doit veiller à :

- être dans une tenue présentable devant le jury
- éteindre son portable.

- être aimable, calme et courtois.
- attendre l'autorisation du Président du jury avant de commencer à parler.
- s'exprimer avec assurance sans parler trop fort
- être audible auprès de l'assistance
- éviter les introductions longues qui contiennent des remerciements sans fins en début de la parole.
- regarder tous les membres du jury
- ne pas lire du texte que l'étudiant a écrit sur des feuilles
- se tenir debout plutôt qu'assis (sauf cas exceptionnel).
- Ecouter les questions et commentaires des membres du jury avant d'y répondre. Ne pas couper la parole.

Méthodes et astuces pour le chapitre 4

Astuces pour bien gérer sa soutenance

- Il existe toujours des imprévus du dernier moment qui peuvent être une source de stress pour le candidat à une soutenance. Pour cela, il faut préparer le matériel et les outils nécessaires (ordinateurs, ports USB, rallonges électriques ...etc) le plus tôt possible.
- Etablir des listes de documents et de matériel à acquérir bien avant la soutenance.
- Déléguer des personnes de confiance pour se faire aider dans certaines tâches de préparation, comme l'achat du matériel.
- Se reposer suffisamment la veille pour être en forme et minimiser son stress.
- Réunir ses affaires dans un seul endroit pour éviter d'en oublier.
- Avoir une bonne concentration avant et pendant la soutenance.

PARTIE 2

CHAPITRE 5

LE PLAGIAT

Contenu du chapitre

01 semaine

5.1 Introduction	63
5.2 Conséquences du plagiat	63
5.3 Paraphrases	63
5.4 Législation algérienne relative au plagiat	64
5.4 Comment éviter le plagiat	64

Compétences visées

- Apprendre à repérer les situations de plagiat
- Comment éviter le plagiat

Mots – clés

Plagiat – Paraphrase – Eviter le plagiat.

5.1 Introduction

Le plagiat est le vol d'une propriété intellectuelle. Cette propriété peut être une idée, une phrase, un paragraphe, une figure ou un schéma. Plagier est utiliser les mots d'un autre auteur sans citer la source. Même en changeant quelques mots ou la plus part des mots de la phrase d'un autre auteur, l'étudiant est considéré comme plagiaire. Les étudiants qui, dans leurs mémoires, pratiquent le « copier coller » sans citer les références sont considérés comme plagiaires. Le plagiat est sévèrement puni par la loi algérienne. L'étudiant qui prépare un mémoire doit faire très attention à ne pas tomber dans le piège du plagiat, car un auteur pourra le poursuivre même plusieurs années après pour plagiat.

Il existe des logiciels à travers le monde qui détectent le plagiat.

5.2 Conséquences du plagiat

Les risques que court un étudiant qui pratique le plagiat est :

- immédiat ou à court terme : si l'encadreur ou les membres du jury s'en aperçoivent, ils peuvent le sanctionner sévèrement et annuler la soutenance et le mémoire.
- à long terme : après la soutenance, le mémoire est déposé dans la bibliothèque du département et peut être consulté par des milliers de personnes. Si le plagiat est découvert, l'étudiant risque l'annulation de son diplôme même des années après l'avoir obtenu.

De plus, aucune personne n'aimerait voir ses résultats, manuscrit, figures ou autre diffusés sans son accord, volés par quelqu'un d'autre.

Tous les documents qui possèdent un *copy right* doivent être utilisés en mentionnant leur référence.

5.3 Paraphrases

Les paraphrases sont les phrases d'un auteur qu'une autre personne utilise en les reformulant, en changeant les mots par exemple. Mais l'idée reste la même et c'est celle de l'auteur d'origine. Il est donc important même quand on reformule les phrases de préciser la référence.

5.4 Législation algérienne relative au plagiat

L'arrêté n° 933 du 28 juillet 2016 fixe les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat. Le ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique va acquérir des logiciels détecteurs de plagiat pour contrôler les mémoires, thèses et tous les travaux scientifiques réalisés dans les universités algériennes.

Le conseil d'éthique et de déontologie de la profession universitaire a été créé pour enquêter dans les cas de plagiat dans les universités algériennes. Il a pour mission de contrôler et d'enquêter sur les cas de plagiat et de transmettre ces éléments aux services d'administration concernés.

Les mesures de sanction qui concernent l'étudiant plagiaire sont citées dans l'arrêté ministériel. Il passe par le conseil de discipline de l'établissement qui décide de la sanction à lui administrer. Cette sanction peut aller à l'annulation de son diplôme.

5.5 Comment éviter le plagiat

L'étudiant doit respecter des règles très simples pour éviter le plagiat :

- éviter d'utiliser le « copier coller »
- indiquer la référence de toutes les idées, phrases, paragraphes, schémas, figure ou photographie que vous n'avez pas créé. La référence doit être indiquée clairement dans le texte et dans la section bibliographie à la fin du document.
- Ne pas oublier de mentionner la référence quand on emprunte les résultats d'une étude effectuée par un organisme (comme Agence Nationale pour la Protection de l'environnement).
- Mettre entre guillemets chaque phrase ou paragraphe qui est d'un autre auteur en indiquant la référence dans le texte et dans la section bibliographie à la fin du document.
- Ne pas traduire d'une langue à une autre des éléments de texte sans en préciser la source.
- en prenant des notes lors de la préparation du mémoire, il faut mettre entre guillemets ou surligner les éléments que l'étudiant a copié d'un autre auteur, sinon, il peut se retrouver dans une situation de plagiat involontaire.

**ACTIVITES
D'APPRENTISSAGE
ET D'EVALUATION**

ACTIVITE 1

RESUME D'UNE PUBLICATION SCIENTIFIQUE EN FRANCAIS

Objectifs de l'activité

- Accomplir une synthèse bibliographique
- Faire ressortir les informations essentielles contenues dans une publication
- Faire une synthèse bibliographique
- Ecrire une référence bibliographique

Travail demandé

Faire la synthèse de l'article suivant qui est rédigé en Français en accomplissant les tâches suivantes :

- 1.** Ecrire une synthèse de l'article
- 2.** Remplir le tableau de synthèse
- 3.** Ecrire la référence bibliographique de cet article en suivant le format du modèle en vigueur dans le Département de Génie Mécanique

Mode d'évaluation

Type de l'activité 1	Délai de remise du travail	Notation	Réalisation
Entrainement / évaluation continue	02 semaines	Globale : 10 pts	Monôme (individuelle)
		Question 1 : 05 pts	
		Question 2 : 03 pts	
		Question 3 : 02 pts	

INFLUENCE DES TRAITEMENTS DE REVENU SUR LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES D'UN ACIER RAPIDE

Ahmed SADOK, Zahar SEMARI

Laboratoire de Valorisation des Matériaux, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université de Mostaganem, BP 227, 27000 Algérie.

Abstract - Influence of treatments of tempering on the mechanical characteristics of a high-speed steel. The influence of tempering treatments on various mechanical characteristics (hardness, strength, resilience and toughness) was considered in this study. The investigated material was a strongly alloyed high-speed steel, Z 85 WCDV 06-05-04-02, in the order of decreasing contents of the elements tungsten, molybdenum, chromium and vanadium, which is used in manufacturing tools. This material is mainly subjected to wear and impacts. The experimental methods as well as an analysis of the chemical composition of the material are presented. Test specimens were of a normalized type. An analysis of the addition elements influence on the obtained results is discussed. The variation of mechanical characteristics in terms of applied thermal treatments is shown. These treatments reveal the influence of tempering. They allow to determine the best compromise between the obtained morphological structure on the one hand and the mechanical properties of this alloy on the other hand.

Résumé - Nous considérons dans cette étude l'influence des traitements thermiques de revenu sur les différentes caractéristiques mécaniques (dureté, résistance à la traction, résilience et ténacité). Le matériau que nous avons utilisé est un acier rapide, fortement allié, Z 85 WCDV 06-05-04-02, comprenant dans l'ordre décroissant des teneurs des principaux éléments : tungstène, molybdène, chrome et vanadium, utilisé dans la fabrication d'outils de coupe. Ce matériau travaille principalement au choc et à l'usure. Les méthodes expérimentales que nous avons mises en œuvre ainsi qu'une analyse de la composition chimique du matériau seront présentées. Les éprouvettes utilisées sont de type normalisé. Une analyse de l'influence des éléments d'addition sur les résultats obtenus est discutée. Nous montrons la variation des caractéristiques mécaniques en fonction des traitements thermiques appliqués. Ces traitements mettent en évidence l'influence du phénomène de revenu. Ils permettent la recherche d'un meilleur compromis, entre la structure morphologique obtenue d'une part, et l'ensemble des propriétés mécaniques en général de cet acier, d'autre part.

1. INTRODUCTION

Le choix d'un matériau dépend essentiellement de sa composition chimique et des conditions de son élaboration. Les traitements thermiques de revenu lui confèrent des changements notables au niveau de sa structure propre. Ils lui permettent ensuite d'avoir de meilleures caractéristiques mécaniques, recherchées par les utilisateurs [1, 2]. La tenue en service exprimée par la ténacité est une propriété importante, qui peut être déterminée expérimentalement par résilience ou par fatigue. Elle correspond à la capacité d'un matériau à résister au choc. Elle est définie par le facteur d'intensité de contraintes K_{IC} en mode I.

2. MATERIAU ET METHODES EXPERIMENTALES

2-1 Matériau étudié

L'acier ayant fait l'objet de cette étude est un acier rapide, fortement allié, destiné principalement à la fabrication des outils de coupe. Cet acier possède divers éléments ayant une teneur supérieure à 5% en poids. Selon la norme AFNOR, ce matériau est connu sous l'appellation: Z 85 WDCV 06-05-04-02 ou d'une manière abrégée (6-5-2). Sa composition chimique est donnée dans le *tableau I*.

Tableau I. Composition chimique de l'acier rapide étudié (teneurs exprimées en % poids).

C	W	Mo	Cr	V	Si	Mn	P	S
0,86	6,0	4,7	3,8	1,7				
à	à	à	à	à	≤ 0,45	≤ 0,40	≤ 0,03	≤ 0,03
0,94	6,7	5,2	4,5	2,0				

On note que les éléments d'alliage tels que le tungstène (W), le molybdène (Mo), le chrome (Cr), et le vanadium (V) ont des teneurs élevées. Ils constituent les principaux éléments d'addition. Ce sont des éléments carburigènes et alphaséens, susceptibles de former des carbures métalliques, par précipitation au cours des traitements thermiques de revenu [2, 3, 4]. L'affinité chimique de ces éléments vis-à-vis du carbone est classée dans l'ordre croissant suivant: chrome, tungstène, molybdène et vanadium.

En raison de sa bonne résistance à l'usure, cette nuance d'acier s'est révélée particulièrement intéressante pour la fabrication d'outils à coupe rapide et de formage à froid.

Le problème ici posé concerne la tenue en service des poinçons fabriqués à partir de cet acier. Ces essais permettent de rechercher les conditions optimales des traitements thermiques appliqués et donc les meilleures propriétés mécaniques en général de ce matériau.

2.2. Méthodes expérimentales

Les principales techniques expérimentales utilisées dans ce travail sont principalement la dureté, la traction et la résilience.

Les essais réalisés ont été menés respectivement sur une machine type mouton - Charpy, une machine de traction universelle et une machine de dureté Vickers.

Les différents types d'éprouvettes utilisées sont représentées sur la figure 1.

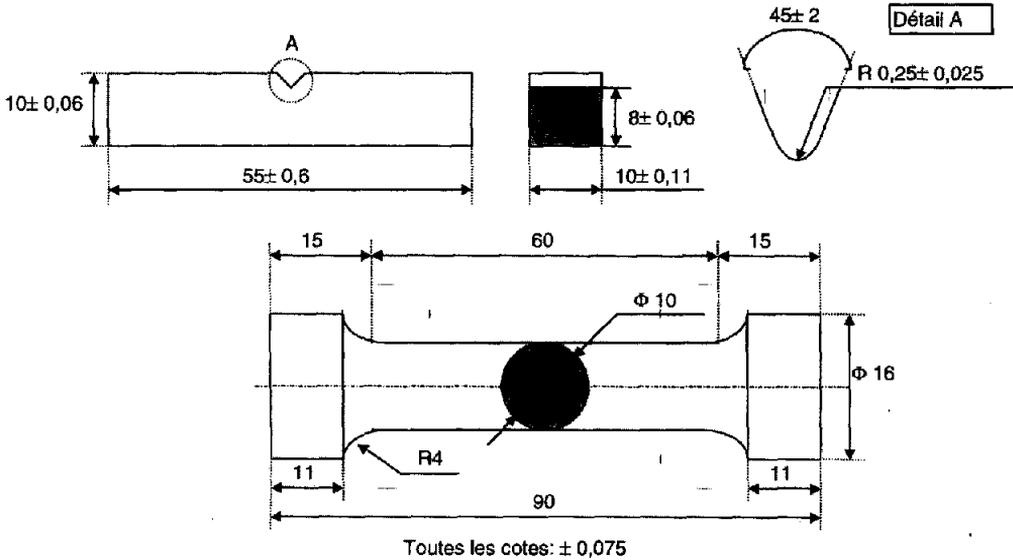


Figure 1. Formes et dimensions des éprouvettes utilisées.

Les traitements thermiques de revenu conduisent à des modifications microstructurales. Ces traitements constituent un paramètre essentiel pour la détermination des caractéristiques de ce matériau. Ils permettent la formation de différents types de carbures de différentes tailles compte tenu de la diversité des éléments entrant dans la composition chimique [1 à 3].

Le cycle des traitements thermiques appliqués pour cet acier comprend la trempe suivie de revenus à différentes températures, figure 2. La température d'austénitisation permet d'effectuer une redissolution des carbures présents dans l'acier et notamment des carbures complexes du type M_7C_3 , qui peuvent ne pas être complètement remis en solution dans le cas de ce traitement à des températures plus basses.

Le temps de maintien à cette température dépend de la composition chimique, de la forme et de la taille de l'outil mais également de la température de traitement. Le temps de maintien assure une meilleure homogénéité à cette température et une remise en solution des carbures. Les températures de revenu varient de 100 à 700 °C.

Sur la figure 2, on peut noter l'existence de plusieurs revenus pratiqués après le traitement de trempe à l'huile. Ces traitements de revenu devraient normalement conférer au matériau étudié une meilleure plasticité.

La présence d'éléments carburigènes favorisent la formation de carbures de différentes tailles. Ces carbures durcissent notablement l'acier étudié et modifient sa tenue en service.

L'intérêt de ces traitements est de trouver un meilleur compromis entre l'état microstructural et les propriétés mécaniques de ce matériau. Au cours du chauffage, les carbures susceptibles de se constituer peuvent être des carbures M_3C et $M_{23}C_6$ contenant du chrome, du tungstène, du

molybdène et du vanadium en plus de l'élément fer. Ces carbures peuvent se dissoudre aux alentours de (800 - 900°C). Des carbures complexes, du type M_6C ou MC , plus résistants, peuvent se former à une température inférieure à 1200 °C. Le carbure MC , est recherché pour la résistance à l'usure sans pour autant mettre en cause les propriétés de rectification et de mise en forme [4, 10 et 11].

Les traitements de revenu conduisent à un processus de durcissement engendré par la précipitation de carbures finement dispersés. La formation de carbures spéciaux contenant le molybdène donnent lieu à un durcissement secondaire. Ce phénomène se produit entre (400 - 600°C), comme le montre la *figure 3*, exprimant la dureté HV en fonction de la température de revenu.

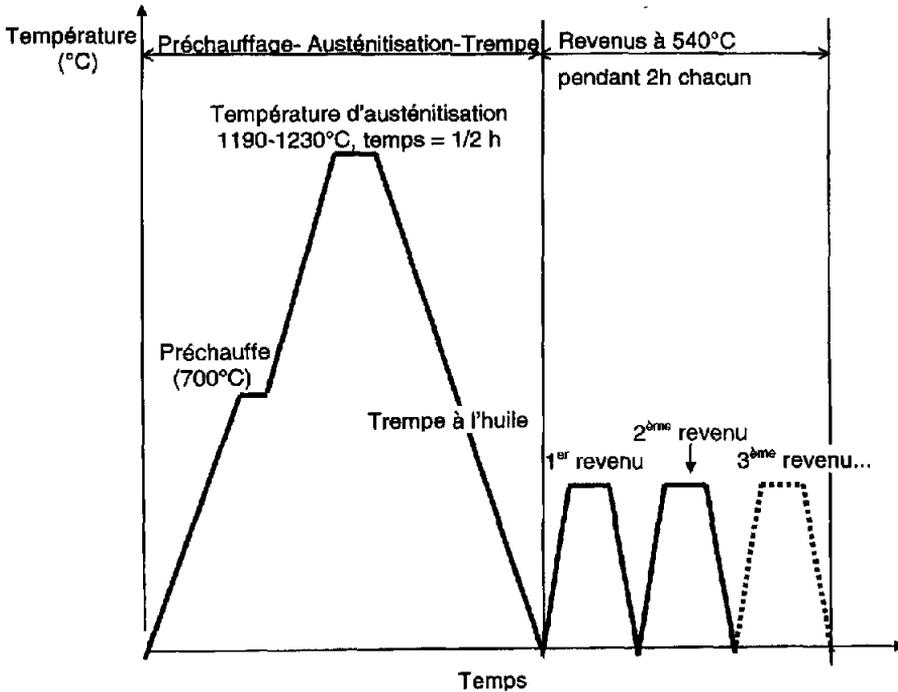


Figure 2. Schéma des traitements thermiques appliqués à l'acier étudié.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'ensemble des caractéristiques mécaniques obtenues sur cet acier au cours des traitements de revenu sont rassemblées dans le *tableau II*. Dans ce tableau, sont reportées les valeurs de la limite d'élasticité (R_e), de la charge à la rupture (R_r) de l'allongement à rupture (A) déduites d'essais de traction conventionnels, la dureté Vickers (HV) ainsi que l'énergie de rupture par choc (KV), obtenue par essai de résilience. Ces valeurs n'évoluent que très peu en fonction des traitements appliqués. Le revenu à 700°C donne des valeurs meilleures en terme de plasticité. Les valeurs des

propriétés mécaniques (R_e , R_r , $A\%$ et $Z\%$) et de résilience varient très peu aux faibles températures de revenu. Aux valeurs des températures (400 - 600°C), ces valeurs augmentent sensiblement. Les valeurs de dureté HV diminuent pour les températures de (100 - 300°C) puis augmentent aux températures (400 - 600°C). Dans tous les cas, la variation de ces propriétés reste liée à la nature des précipités formés au cours de ces traitements de revenu.

Tableau II. Caractéristiques mécaniques de l'acier étudié après revenu.

Températures des revenus (°C)	Dureté HRC	Dureté HV	R_e (MPa)	R_r (MPa)	A (%)	Z (%)	KV (Joules)
100	64	800	1220	1240	0,20	0,50	3,30
200	60	700	1222	1248	0,27	0,47	3,47
300	58	650	1203	1229	0,25	0,37	3,23
400	58	650	1388	1416	0,17	0,26	2,90
500	62	740	1444	1474	0,09	0,20	2,80
600	60	700	1369	1397	0,35	0,80	3,73
700	36	350	1132	1155	2,20	4,00	5,73

Le tableau II montre que les valeurs de R_e , R_r et HV sont très élevées, ce qui s'accompagne de valeurs faibles pour les allongements $A\%$ et la striction $Z\%$. Les valeurs de l'énergie de rupture KV peuvent être également considérées comme relativement faibles. Ces valeurs traduisent en fonction de la température des revenus, de la nature et des types des précipités formés, un comportement fragile, notamment dans l'intervalle des températures (300 - 500 °C).

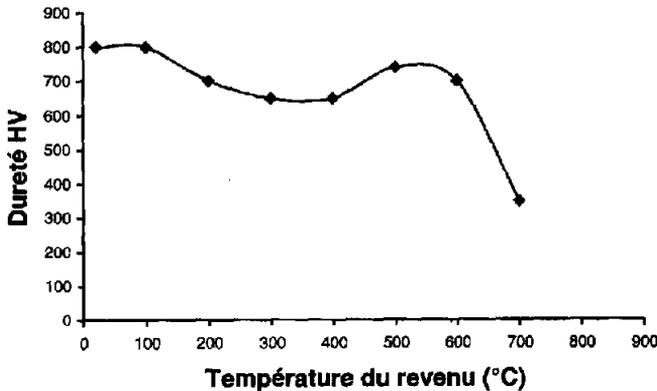


Figure 3. Variation de la dureté Vickers HV en fonction de la température des revenus.

La variation de la dureté Vickers en fonction de la température de revenu est représentée sur la figure 3. Sur cette figure, on peut noter une décroissance des valeurs de la dureté à mesure que la température des revenus augmente en enregistrant un minimum dans l'intervalle (400 - 500 °C). Cette chute des valeurs de la dureté Vickers traduit un phénomène d'adoucissement du matériau. Ce phénomène a été révélé par Atawi [10] et El Gamel [11], sur des aciers à haute résistance, moins

chargés en éléments carburigènes que l'acier étudié. L'élévation de la dureté s'explique en fait par l'effet de durcissement dû au carbone en saturation dans le réseau de la martensite. Dans le cas des traitements de revenu, le processus de durcissement se traduit par une précipitation de carbures finement dispersés (carbures spéciaux tels que Mo_2C), donnant lieu à un durcissement secondaire à 300°C .

La variation de la limite d'élasticité en fonction de la température des revenus est représentée sur la *figure 4*. Cette figure montre deux domaines de température: Un domaine variant entre (100 à 300°C) où, les valeurs de la limite d'élasticité restent presque inchangées. Un autre domaine s'étant de (350 - 500°C), enregistre une augmentation sensible des valeurs de R_e puis une diminution de celles-ci jusqu'à la température 700°C .

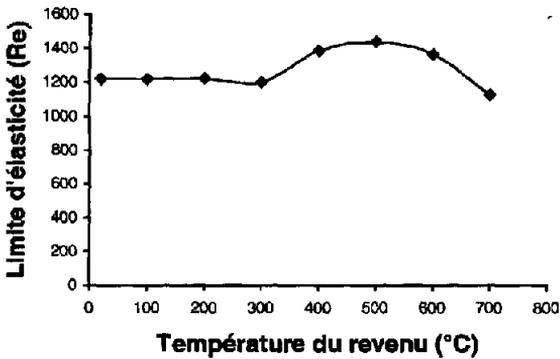


Figure 4. Variation de la limite d'élasticité R_e (MPa) en fonction de la température des revenus.

La variation de l'énergie de rupture en fonction de la température des revenus est donnée par la *figure 5*. Cette figure montre que l'énergie de rupture (KV) varie d'une manière similaire que la limite d'élasticité [3, 4]. La variation de la résilience en fonction de la température de revenu met en évidence une faible évolution des valeurs de KV, suivi d'une chute de celles-ci pour les KV, observé également sur des aciers à haute résistance par [10, 11]. Ces paramètres (dureté, limite d'élasticité, résilience), caractérisent la ténacité ou encore la ductilité du matériau [5 à 7].

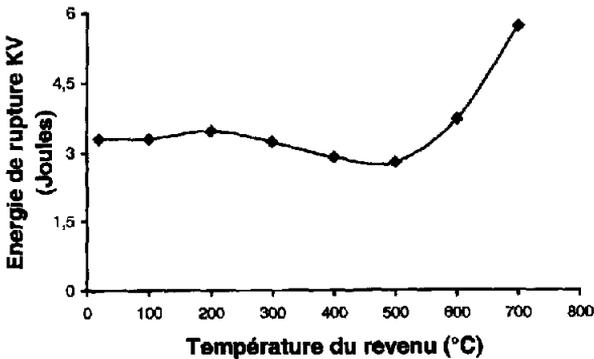


Figure 5. Variation de l'énergie de rupture KV en fonction de la température des revenus.

Les traitements thermiques de revenu ont tendance à diminuer la résistance de l'acier étudié et améliorent la ductilité et donc la ténacité. L'intervalle des températures entre (300 et 500°C) semble correspondre à un domaine de fragilisation. Il a été signalé par [1, 2], que l'accroissement brusque de la résistance dans ce domaine résulte du phénomène de ségrégation, au niveau des joints de grains, d'éléments tels que (S, P, Sb, Sn...).

La figure 6, montre l'allure des points expérimentaux obtenus sur cet acier rapide. Ces points s'alignent le long d'une droite exprimant (K_{IC}/HV) en fonction de (KCV/HV) comme l'ont montré [2, 8, 9] sur plusieurs matériaux. Cette corrélation exprime d'une part, le facteur d'intensité de contrainte et d'autre part l'énergie de rupture, en fonction de la dureté Vickers.

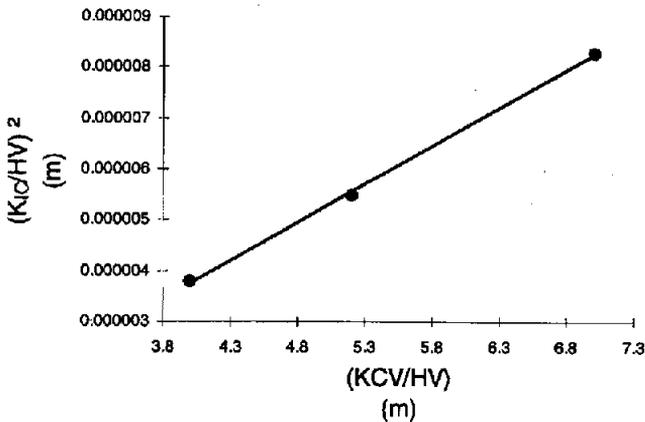


Figure 6. Corrélation entre la ténacité K_{IC} , la dureté HV et la résilience KCV.

4. CONCLUSIONS

Les conclusions qui se dégagent de cette étude sont les suivantes.

Les éléments d'addition carburigènes ont favorisé notablement les modifications de la structure et donc les variations des caractéristiques mécaniques au cours des traitements de revenu. L'amélioration des caractéristiques mécaniques de l'acier étudié dépend de la composition chimique, des traitements thermiques appliqués et par suite de la nature des précipités susceptibles de se former. Ces précipités sont de différentes tailles et de formes. Ils dépendent également des conditions des traitements thermiques appliqués. La formation du carbure MC, est souvent très recherchée pour sa bonne tenue à l'usure.

L'énergie de rupture (KV) mesurée par résilience et par conséquent le facteur d'intensité de contraintes K_{IC} varie avec le changement des températures de revenu.

L'établissement d'une corrélation entre le facteur critique d'intensité de contraintes K_{IC} d'une part, la dureté et la résilience d'autre part, suit l'allure d'une courbe comparable à celle ayant été déterminée par plusieurs auteurs.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. François, A. Pineau, A. Zaoui, Comportement mécanique des matériaux, Hermès, Paris (1993).
- [2] R. W.Hertzberg, Deformation and fracture mechanics of engineering materials, John Wiley and Sons, Second edition, New York, (1983).
- [3] Z. Semari, Etude du comportement au choc d'un acier rapide fortement allié Z 85 WDCV 06-05-04-02 utilisé par la BCR Oued Rhiou, Thèse de magister, Centre Universitaire de Mostaganem, (1998).
- [4] R. Levêque, Traitements thermiques des aciers à outils, Technique de l'ingénieur M 1135, 1136 et 1138, 1-(1981). Ed. collection technique de l'ingénieur, France.
- [5] R. Labbens, Introduction à la mécanique de la rupture, Pluralis Mc Graw Hill, Paris, 1980.
- [6] H.D. Bui, Mécanique de la rupture fragile, Masson, (1978).
- [7] J. Lemaitre, J.L. Chaboche, Mécanique des matériaux solides, Dunod, Paris, 1986.
- [8] S. Brahmi, P. Lehr, Etude de la propagation des fissures de fatigue dans les matériaux métalliques, Rapport de Recherche ENSTA, n°252, (1991).
- [9] M. Tahar, Application de l'approche locale de la rupture fragile à l'acier 16 MND5-corrélations résilience - ténacité - probabilité de rupture bimodale (clivage et intergranulaire), Thèse de Doctorat, Ecole des Mines, France, (1998).
- [10] A.H. Atawi, P. Lehr, Influence des traitements thermiques de revenu après trempe sur le comportement mécanique sous sollicitations monotones ou cycliques de l'acier à haute résistance 35 NCDV12, Rapport de recherche ENSTA n° 195, (1985).
- [11] A.A. El Gamel, Etude des processus physiques et physico-chimiques intervenant au cours des traitements de revenu d'aciers à haute résistance - Etude de leurs incidences sur les propriétés mécaniques, la ténacité et l'apparition des phénomènes de fragilité, Thèse de Docteur Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, (1980).

ACTIVITE 2

RESUME D'UNE PUBLICATION SCIENTIFIQUE EN ANGLAIS

Objectifs de l'activité

- Accomplir une synthèse bibliographique
- Faire ressortir les informations essentielles contenues dans une publication
- Faire une synthèse bibliographique
- Ecrire une référence bibliographique

Travail demandé

Faire la synthèse de l'article suivant en accomplissant les tâches suivantes :

- 1.** Ecrire une synthèse de l'article
- 2.** Remplir le tableau de synthèse
- 3.** Ecrire la référence bibliographique de cet article en suivant le format du modèle en vigueur dans le Département de Génie Mécanique

Le travail doit être fait en Anglais ou en Français

Mode d'évaluation

Type de l'activité 1	Délai de remise du travail	Notation	Réalisation
Entrainement / évaluation continue	03 semaines	Globale : 10 pts	Monôme (individuelle)
		Question 1 : 05 pts	
		Question 2 : 03 pts	
		Question 3 : 02 pts	

Journal Pre-proof

Applications of rapid thermal processing to advanced high strength sheet steel developments

David K. Matlock, Singon Kang, Emmanuel De Moor, John G. Speer



PII: S1044-5803(20)30474-5

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110397>

Reference: MTL 110397

To appear in: *Materials Characterization*

Received date: 12 February 2020

Revised date: 13 April 2020

Accepted date: 19 May 2020

Please cite this article as: D.K. Matlock, S. Kang, E. De Moor, et al., Applications of rapid thermal processing to advanced high strength sheet steel developments, *Materials Characterization* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110397>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2020 Published by Elsevier.

Applications of Rapid Thermal Processing to Advanced High Strength Sheet Steel DevelopmentsDavid K. Matlock^{*a}, Singon Kang^{a,b}, Emmanuel De Moor^a, John G. Speer^a

*Corresponding author: David K. Matlock, dmatlock@mines.edu,
TEL: 1-303-273-0775; FAX: 1-303-273-3016

^aAdvanced Steel Processing and Products Research Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado USA 80401

^bNow at: Department of Materials Science and Engineering, Dong-A University, Hadan-dong, Saha-gu, Busan, 49315, Korea

Key Words: Sheet steels; rapid heating; heat-treating; induction heating; martensite; flash processing

Declaration of Interest:

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author Contribution Declaration:

All authors contributed directly to the completion of this manuscript. All have read and approved the final document. This manuscript evolved from a portion of the review on advanced high strength sheet steels prepared by the authors for LIFT, Detroit, MI. S. Kang prepared the first draft of the LIFT review and D. Matlock prepared the first draft of this manuscript. All four authors contributed to the writing and editing of this final version.

Abstract

Rapid thermal processing strategies, i.e. thermal histories that involve high heating rates, short times at peak temperatures, and subsequent rapid cooling by quenching, and that typically require significantly shorter total processing times than are utilized in conventional sheet steel processing, are reviewed to illustrate potential benefits and challenges for the production of new advanced high strength steel grades. A fundamental framework based on conventional induction heat treating often applied to rapidly selectively harden surfaces of steel components is highlighted to provide a basic framework for assessment of rapid thermal processing of sheet steels. Four sheet steel product groups were considered. These include dual-phase (DP) steels, quenched and partitioned (Q&P) steels, flash processed steels, and press hardened steels. In comparison to conventionally heat-treated steels, rapid processing of steels resulting in multi-constituent microstructures consisting of ferrite and martensite (DP) and also containing retained austenite (Q&P) result in enhanced strength-ductility combinations primarily due to microstructural refinement. Results indicate that flash processed and press hardening steels, both with primarily martensitic microstructures, exhibit properties largely similar to conventional quenched and low-temperature-tempered steels.

1.0 Introduction

New advanced high strength steels (AHSS), i.e. highly-formable sheet steel grades with primarily ferritic microstructures, have evolved from different processing routes designed to control specific constituents (e.g. ferrite, martensite, bainite, retained austenite, etc.) in final microstructures. Some of these technologies involve rapid

heating and cooling, and are referred to here as “rapid thermal processing,” with total processing times on the order of seconds. Multiple different high energy sources have been considered for rapid thermal processing of steels. These include lasers [1], microwaves [2], direct resistive heating [3], direct flame impingement [4], induction heating [5, 6] and others.

Rapid thermal processing has been considered [7-9] as an alternative to traditional batch annealing which requires processing times on the order of hours or continuous annealing where processing times involve minutes. Rapid processing can potentially lead to increased production rates associated with possibly improved microstructures and material properties, primarily achieved via grain refinement. For example, in 1971 Grange [10] illustrated that rapidly heating through the ferrite + austenite phase field followed immediately by quenching leads to significant grain size refinement, possibly due in part to the presence of very fine and uniform dispersions of undissolved carbides which suppress austenite grain growth and provide nuclei for transformation products that evolve on cooling from ultra-fine grained austenite. It was further illustrated that the material response during rapid annealing is sensitive to starting microstructures, as martensite or fine ferrite-carbide aggregates, such as tempered martensite, respond well due to an initially more uniform distribution of carbon while coarse pearlitic steels, characteristic of fully annealed steels, do not [10].

In conventional thermal processing operations, hold times at critical temperatures following heating are typically sufficient to develop near-uniform temperatures throughout material cross sections with essentially uniform high temperature austenitic microstructures in which primary phases present at low temperatures disappear, and critical elements, particularly carbon, dissolve and distribute uniformly in the austenite matrix. On subsequent cooling, assessments of microstructural evolution as functions of alloy composition and cooling rate typically assume that equilibrium conditions exist prior to the critical phase transformations required to develop final microstructures. However, as a consequence of the high heating rates and short high temperature hold times associated with rapid thermal processing, non-equilibrium microstructures and solute gradients may exist throughout the thermal history. While predictions from conventional heat-treating analyses based on assumed equilibrium conditions provide useful insight into the final microstructures and properties in rapidly processed steels, modifications to approaches to assess phase transformations and microstructural evolution might be required in order to evaluate rapidly processed steels [11].

In cold-rolled sheet steels, steel product types of particular importance to this manuscript, the effects of heating rate on the competition between ferrite recrystallization and austenite formation must also be assessed when considering microstructural evolution. At slow heating rates it is generally assumed that ferrite recovery and recrystallization complete prior to the onset of austenite formation, and thus, austenite typically nucleates at ferrite-ferrite boundaries or ferrite-carbide interfaces. However, at high heating rates, austenite may form within a recovered or partially recrystallized ferrite structure leading to a higher number of austenite nuclei [12-15]. At higher heating rates, austenite nucleates within the deformed ferritic structure, including on ferrite subgrain boundaries [16], and the presence of austenite hinders ferrite recrystallization [14]. As a consequence of the higher number of austenite grains that form at high heating rates, in samples transformed to austenite at the peak temperature, a refined austenite grain structure evolves which on subsequent rapid cooling may lead to a refined

final microstructure [17]. Austenite formation within the directionally-oriented deformed structure can also lead to enhanced development of microstructural banding, particularly in steels rapidly heated to and quenched from intercritical peak temperatures [18].

Significant fundamental background information exists, particularly in the literature related to induction heat treating and hardening of steels, on unique microstructures which evolve during rapid processing [19]. In this paper selected observations from the induction processing literature are presented to provide a framework for consideration of processing routes for high strength sheet steel products that have received recent interest. However, rapid thermal processing has also been applied to other product forms, e.g. high strength tubes including safety bars in automobiles, structural components in motorcycles, coiled tubing for the oil industry, and other applications which can benefit from high strength tubes [20-22]. The sheet steel examples in this paper include: (a) dual phase steels [20, 23, 24], (b) quenched and partitioned steels [25], (c) flash processed steels leading to high strength tubular products or flat products [24, 26-28], and (d) press hardened steels [29, 30].

2.0 Rapid Thermal Processing Background: Induction Heat Treating and Processing Basics

To evaluate transformations in steels, critical temperatures define boundaries in the iron-carbon phase diagram and provide guidelines for selection of processing temperatures. Critical temperatures include A_1 , the minimum temperature for austenite to exist and A_3 , the lower bound of the austenite field or the maximum temperature for ferrite to exist in steels with carbon contents less than the eutectoid composition. Although values exist at thermodynamic equilibrium, i.e. Ae_1 and Ae_3 , for a given alloy composition the critical temperatures are not unique for processing that deviates from equilibrium and depend on multiple factors including heating rate, cooling rate, and prior microstructure. For conventional heat treating operations the effects of heating and cooling rate are incorporated into the critical temperature definitions for A_1 and A_3 where Ac_1 and Ac_3 refer to the corresponding values on heating and Ar_1 and Ar_3 are the corresponding values on cooling where from French the subscripts “c” and “r” respectively refer to chauffage (heating) and refroidissement (cooling). In general, with an increase in heating rate Ac_1 and Ac_3 increase while Ar_1 and Ar_3 decrease with an increase in cooling rate [31]. The effects of alloy content on critical temperatures, e.g. Ac_1 and Ac_3 , may be calculated using thermodynamic databases, but are often determined experimentally, and alloy-dependent empirical formulas have been developed by regression analyses of experimental data [31]. Alloying elements that stabilize austenite lower Ac_1 and Ac_3 whereas elements that stabilize ferrite or carbides raise the Ac_1 and Ac_3 .

Starting microstructures affect heating-rate dependent transformation temperatures as illustrated in **Figure 1** which compares the effects of heating rate on Ac_3 temperatures for 1042 steel with three starting microstructures: large grained ferrite with coarse pearlite (identified as the annealed steel); finer grained ferrite with finer pearlite (identified as the normalized steel); and a quenched and tempered martensitic steel [32, 33]. In these microstructures, carbon distribution, and correspondingly a higher density of austenite nucleation sites, are the primary differences important to the formation of a fully austenitic structure. Prior to heating, the martensitic steel exhibits the most uniform carbon distribution and the annealed steel exhibits the least as it includes coarse regions of very low carbon (i.e. ferrite) and regions with a high average carbon content (i.e. pearlite). As discussed below, the

heating rate and prior microstructure effects shown in **Figure 1** are extremely important when assessing processing and alloying parameters for rapid thermal processing which impose heating rates characteristic of the higher heating rates shown in the figure.

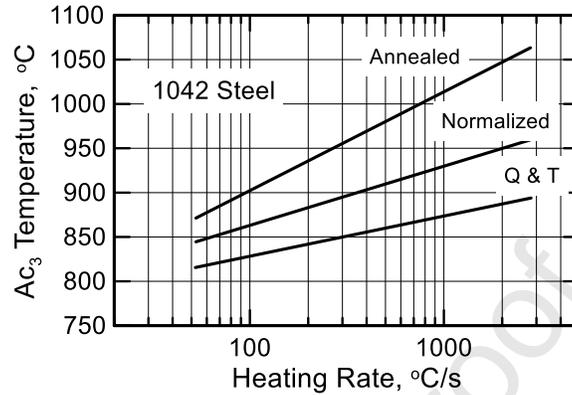


Figure 1 Effects of prior microstructure (coarse ferrite-pearlite for the annealed condition; fine ferrite-pearlite for the normalized condition, and tempered martensite for the Q&T condition) and rate of heating on A_{c3} transformation temperature of 1042 steel (adapted from [32]; data originally published in [33]).

Microstructural evolution during rapid thermal processing is described with transformation diagrams which map in time-temperature space the microstructures present during either heating or after cooling. Common diagrams used to describe the decomposition of austenite after cooling from temperatures where the austenite is assumed to be essentially uniform in composition, and thus predict the final microstructures, are “continuous cooling transformation” (CCT) diagrams. “Isothermal transformation diagrams” (IT), also referred to as “time-temperature-transformation diagrams” (TTT), are also used. In contrast, the effects of heating rate on the development of microstructures present in steels prior to cooling are described by “continuous heating transformation” (CHT) diagrams and “time-temperature-austenitizing” (TTA) diagrams. TTT and CCT diagrams related to austenite decomposition are more common than CHT diagrams related to austenite formation and there are multiple references which compile CCT and TTT diagrams for various alloy systems [34]. However, published diagrams which describe material response on heating are more limited.

While TTT diagrams provide insight into alloy-dependent phase transformations, relatively few heat-treating operations are performed under isothermal transformation conditions, and thus CCT diagrams can be of more practical use. CCT diagrams assume an initial austenitic structure with a homogeneous chemical composition achieved by sufficient holding at the austenitizing temperature and map critical start and finish boundaries for cooling-rate dependent microstructures in time-temperature space. Several other critical parameters (e.g. prior austenite grain size) also contribute to controlling the transformation behavior of steels. On cooling, ferrite, pearlite, or bainite may nucleate at austenite grain boundaries. With a decrease in austenite grain size, the austenite grain boundary area increases leading to an increase in the rate of transformation on cooling. As a consequence of

austenite grain refinement, the ferrite start boundaries in TTT and CCT diagrams shift to shorter times and higher temperatures, for example.

However, on rapid heating, transient (i.e. non-equilibrium) microstructures develop. Thus, depending on heating rate, peak temperature, and time at peak temperature, the microstructure present prior to cooling is more likely to differ from a fully homogeneous austenitic microstructure. In comparison to conventional thermal processing, induction processing involves typical times during heating and at peak (e.g. austenitizing) temperatures that are extremely short, i.e. on the order of a few seconds or less. As a consequence of the short austenitizing (holding) times, to achieve full austenitization during rapid thermal processing, the material must be heated to temperatures greater than those employed in conventional heat treating. In the absence of heating to sufficiently higher temperatures, often the material is not fully transformed to austenite prior to cooling.

The effects of heating rate on the temperatures required to achieve full austenitization in non-equilibrium conditions were shown in the example of **Figure 1** and can be represented on time-temperature-austenitizing (TTA) diagrams. Three example TTA diagrams, selected to illustrate the effects of alloy content and starting microstructure, are presented in **Figure 2** [35-37]. **Figure 2a** shows data for a plain carbon steel, Ck45 (in wt%, 0.49C-0.74Mn-0.16Cr; similar to AISI 1045; with an initial microstructure of ferrite plus partially spheroidized pearlite), **Figure 2b** shows results for a medium carbon steel, 46Cr2 (in wt%, 0.48C-0.71Mn-0.48Cr; similar to 5150 steel; with an initial microstructure of ferrite plus partially spheroidized pearlite), and **Figure 2c** is for 41Cr4 (in wt%, 0.52C-0.85Mn-0.95Cr; also similar to 5150 steel; with an initial microstructure of tempered martensite). In each figure selected, continuous heating rates are indicated for reference, critical temperatures are shown to increase with an increase in heating rate, and microstructures present on heating are mapped to develop specific response zones.

For the plain carbon Ck45 steel with an initial microstructure of ferrite with carbides present from spheroidization of pearlite, **Figure 2a** shows three zones associated with austenitizing. The zone between Ac_1 and Ac_3 defines a temperature range in which the ferrite/carbide microstructure coexists while austenite forms and carbides dissolve. Above the Ac_3 there is a zone where immediately after carbide dissolution, composition gradients in carbon and/or substitutional alloying elements exist to form a region identified as inhomogeneous austenite where the initial composition gradients reflect the initial carbide distribution in the microstructure. With an increase in temperature, or hold time within this zone, diffusion (rapid for carbon and more slowly for the substitutional elements) tends to homogenize the composition. At temperatures above the dashed line, homogeneous single-phase austenite is established.

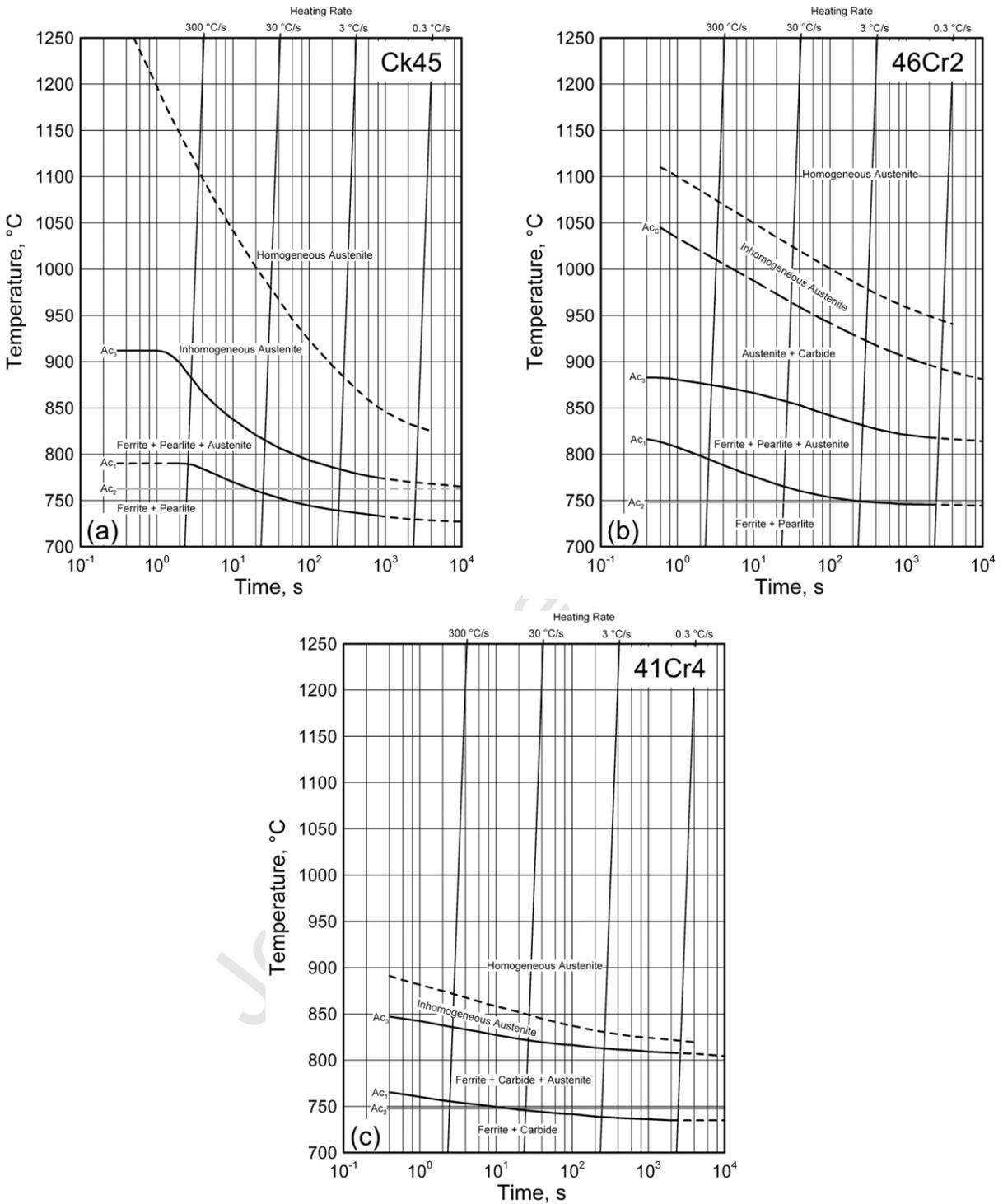


Figure 2: Time-temperature austenitizing diagrams for the alloys and starting microstructure classes: (a) Ck45 (AISI 1045), ferrite + partially spheroidized pearlite, (b) 46Cr2 (similar to AISI 5150), ferrite + partially spheroidized pearlite, and (c) 41Cr4 (similar to AISI 5150) Q&T, tempered martensite [35-37]. Note that the reference lines with a positive slope indicate different heating rates as labeled on the top of the figure. (Images were adapted by Clarke [35] from [36] for “a” and from [37] for “b” and “c”).

With the addition of chromium, dissolution of chromium-containing cementite (i.e. carbide) is more sluggish [38] and on heating another distinct microstructural zone evolves in TTA diagrams as illustrated in **Figure 2b** for the 46Cr2 steel with 0.48 wt% Cr. An additional high-temperature line, identified as Ac_c , bounds the upper temperature limit where carbides are present. A comparison of **Figure 2b** with **Figure 2a** indicates that the region of inhomogeneous austenite is shifted to higher temperatures owing to the presence of Cr.

By altering the starting microstructure to create a more homogeneous initial carbon distribution, the rate of carbide dissolution can be greatly accelerated at all heating rates, leading to significant modifications to the microstructural zones in TTA diagrams. For example, **Figure 2c** presents results for a 41Cr4 (AISI 5150) steel with 0.96 wt% Cr and a tempered martensitic microstructure prior to heating. In comparison to the results for a similar Cr-bearing alloy with a ferrite-spheroidized microstructure in **Figure 2b**, **Figure 2c** shows that the distinct austenite plus carbide zone is absent and the critical temperatures to achieve homogeneous austenite are significantly lower. It is perhaps significant that more rapid homogenization occurs in the prior tempered martensite structure than the prior spheroidized microstructure, despite its higher chromium level.

It is also noted that in the examples in **Figure 2**, at the higher heating rates (i.e. shorter times), the indicated Ac_1 lines exceed the corresponding Ac_2 values, i.e. the Curie temperature. The Curie temperature is essentially independent of heating rate and indicates the temperature below which the steel is ferromagnetic. For rapid thermal processing which involves induction heating, the effective heating response of steel depends on the ferromagnetic properties of the material being heated. Thus, at the higher heating rates, the induction heating efficiency decreases at temperatures where the Ac_1 exceeds the Ac_2 .

Figures 3 and 4 present micrographs selected to illustrate example features present in rapidly thermally processed microstructures and which support the development of the different microstructural zones evident in the TTA diagrams of **Figure 2**. **Figure 3** shows the microstructure of 5150 steel (in wt%, 0.5C, 0.83Cr, 0.82Mn, 0.11Ni, 0.21Si) after induction hardening for 1 s to produce a sample with a 690 Vickers hardness (59 HRC) [39]. Prior to induction hardening, the sample shown in **Figure 3** was austenitized at 1000 °C for 3600 s and furnace cooled to produce a coarse ferrite-pearlite microstructure. After induction hardening the matrix is martensite but evidence of the initial pearlitic structure, referred to as “ghost pearlite,” is revealed by etching. The observation of “ghost pearlite” was interpreted to be evidence of the carbide stabilization effects and limited diffusion distances of Cr present at 0.83 wt% in the alloy [39].

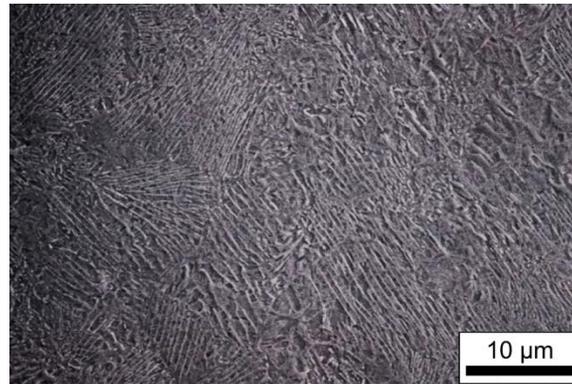


Figure 3 Scanning electron micrograph (nital and picral etch) of the near-surface of a cylindrical 5150 steel bar which was austenitized and furnace cooled to produce an initial coarse ferrite-pearlite microstructure and subsequently induction hardened for 1 s on a commercial induction hardening system [39]. The hardness of the region shown is 690 HV (approximately 59 HRC).

Figure 4 shows scanning electron micrographs of the spheroidized core microstructure of a 1541 steel (in wt%, 0.39C-1.45Mn) (**Figure 4a**) prior to rapid thermal processing by induction heating and the near surface martensitic microstructure (**Figure 4b**) after rapid heat treating and immediate quenching [40]. The core microstructure shows a well-developed classical spheroidized structure which is often desirable for forming or machining. In the hardened case (**Figure 4b**), undissolved spherical carbides remain within the martensitic matrix, indicating that carbide dissolution during induction heating was incomplete resulting in an austenite carbon content less than the bulk concentration. The lower carbon content resulted in a surface hardness of 56HRC (610 HV [41]), a value less than predicted for a 0.4 wt% C alloy quenched to martensite (≈ 59.5 HRC) [42].

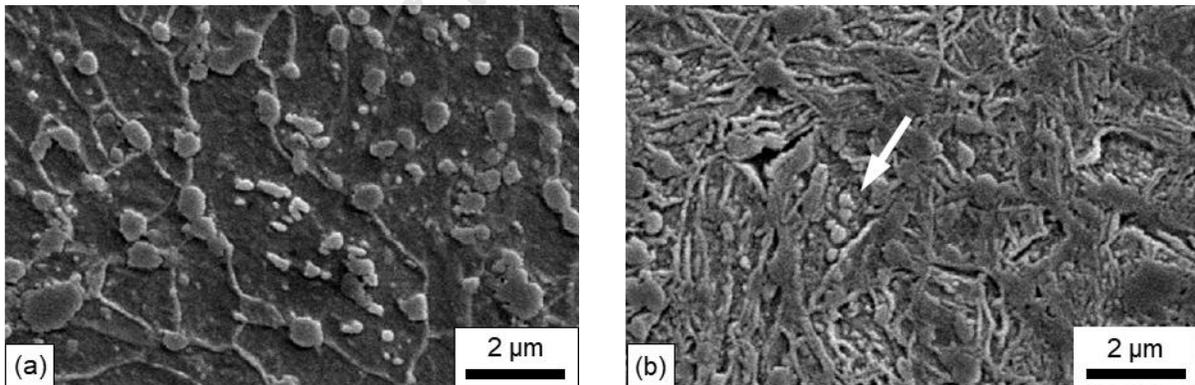


Figure 4 Scanning electron micrographs of induction hardened SAE 1541 steel with a ferrite + spheroidized carbide prior microstructure: (a) the spheroidized core structure characteristic of the initial starting microstructure and (b) the presence of undissolved carbides (highlighted by white arrow) in lath martensite in the hardened layer just below the surface (2 pct. nital etch) [40].

Figure 5a correlates peak temperature with as-quenched hardness for various starting microstructures in 1045 steel heated at 100 °C/s and quenched after a 1 s hold [35, 43]. Hardness as a function of heating rate for hot-rolled 5150 steel with an initial ferrite-pearlite microstructure quenched immediately on reaching the indicated peak temperature is shown in **Figure 5b** [35, 44]. **Figure 5a** illustrates that the significant transient effects of starting

microstructure evident at the lower peak temperatures essentially disappear at higher peak temperatures (i.e. above about 1000 °C) due to the effects of carbide dissolution and carbon diffusion, both thermally activated processes which accelerate with increasing temperature, resulting in similar hardness values independent of starting microstructure. Similarly, **Figure 5b** illustrates that the as-quenched hardness is dependent on heating rate for lower peak temperatures where less time is available for carbide dissolution at the higher heating rates leading to average austenite carbon contents that are lower than the bulk level of 0.5 wt% C in the 5150 steel. However, at higher temperatures above about 1000 °C, the effects of heating rate disappear due again to rapid carbide dissolution and carbon diffusion leading to essentially uniform (equilibrium) austenite carbon contents and as-quenched hardness values independent of heating rate.

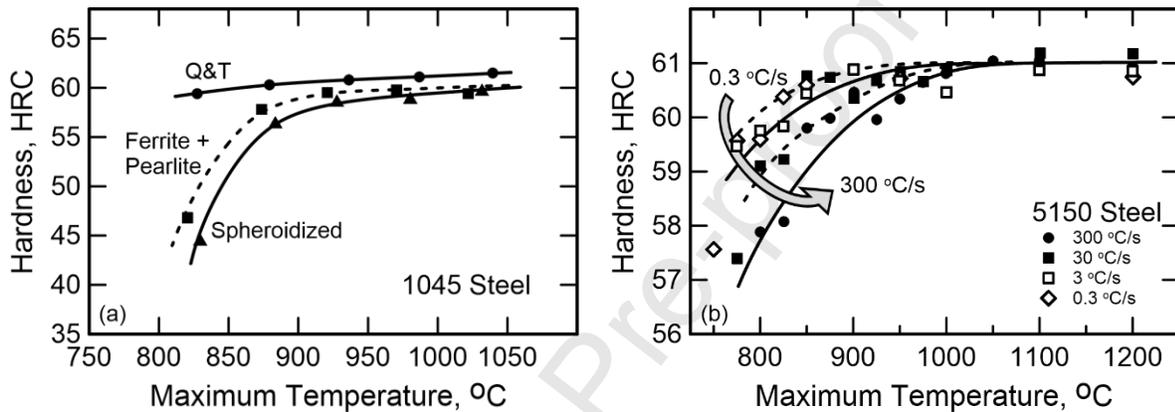


Figure 5: Correlations of as-quenched hardness values with peak processing temperatures in (a) 1045 steel with different starting microstructures heated at a rate of 100 °C/s and held for 1 s prior to quenching [43] and (b) hot-rolled 5150 steel with an initial ferrite-pearlite microstructure heated at rates of 0.3 to 300 °C/s and immediately quenched after reaching the indicated maximum temperatures [35, 44]. Error bars present on the image in [35] are omitted for clarity.

Several important points must be considered when developing rapid thermal processing technologies. Critical temperatures increase with heating rate. Depending on the peak temperature and time at temperature, complex starting microstructures, potentially with incompletely dissolved constituents present prior to processing and/or incomplete homogenization, may be present in final microstructures and are reflected in time-temperature-austenitization diagrams. Microstructures with more homogeneous carbon and/or alloy distributions prior to heating lead to more rapid transformation at high heating rates. As a result, the effects of processing variables rapidly diminish at higher peak temperatures, particularly above 1000 °C. However, depending on alloy content, particularly for alloying elements that retard carbide dissolution rates, it is often necessary to heat steels to temperatures significantly above those which would be employed in conventional heat-treating operations. The higher temperatures are preferred to ensure that complete carbide dissolution occurs in the short times at peak temperature. With short processing times, refined microstructures are possible. However, as a consequence of the higher austenitizing temperatures, austenite grain growth may also occur, leading to a larger than desirable austenite grain size prior to quenching, unless processing times are very short [45] or sufficient numbers of fine carbides remain to prevent grain growth [17].

3.0 Rapid Thermal Processing: Applications to Sheet Steel Developments

Multiple approaches have been taken to incorporate rapid thermal processing and utilize the non-equilibrium conditions discussed above in the production of materials including candidates for the different classes of new AHSS grades. In this section, the four selected sheet steel examples illustrate applications of the basic principles summarized above that are applied industrially in multiple operations including routine processing of other products including bar and forging steels.

3.1 Intercritical Annealing and Dual-Phase Steels

Dual-phase (DP) steels are advanced high strength steels that are used extensively [46], and a variety of these products are commercially produced by use of conventional continuous annealing or continuous galvanizing/galvannealing operations. Steels of current interest are typically low carbon (less than about 0.2 wt%) alloyed with manganese and other hardenability elements and are cold-rolled prior to thermal processing. A typical final processing route may involve heating to an intercritical temperature (i.e. between the Ac_1 and Ac_3) where the relative volume fractions of ferrite and austenite present depend primarily on carbon content and peak temperature. On quenching, all or part of the austenite transforms to martensite to produce a final microstructure of ferrite and martensite but which may contain some small amounts of retained austenite and other transformation products such as bainite. Recently, rapid thermal processing has been applied to the development of dual-phase steels with enhanced properties resulting primarily from a refinement of the microstructure facilitated by rapid processing. For example, Meng *et al.* [23] applied an intercritical heat treatment with fast heating (heating at a rate of 500 °C/s up to 860 °C, soaking for 2 s, and cooling to room temperature with a cooling rate of 100 °C/s) to a cold-rolled DP steel (DP590, Fe-0.07C-1.7Mn-0.43Si, in wt%). **Figures 6a and 6b** show microstructures of the DP steel after conventional continuous annealing (CA) and fast heating (FH), respectively [23]. In comparison to the microstructure of CA-DP steels having an average ferrite grain size of 11.2 μm (**Figure 6a**), fast heating refines the ferrite grain size to 4.3 μm and replaces the martensite with a complex secondary constituent containing both martensite and bainite with refined substructures (**Figure 6b**), resulting in a simultaneous increase of strength and ductility as shown in **Figure 6c** [23].

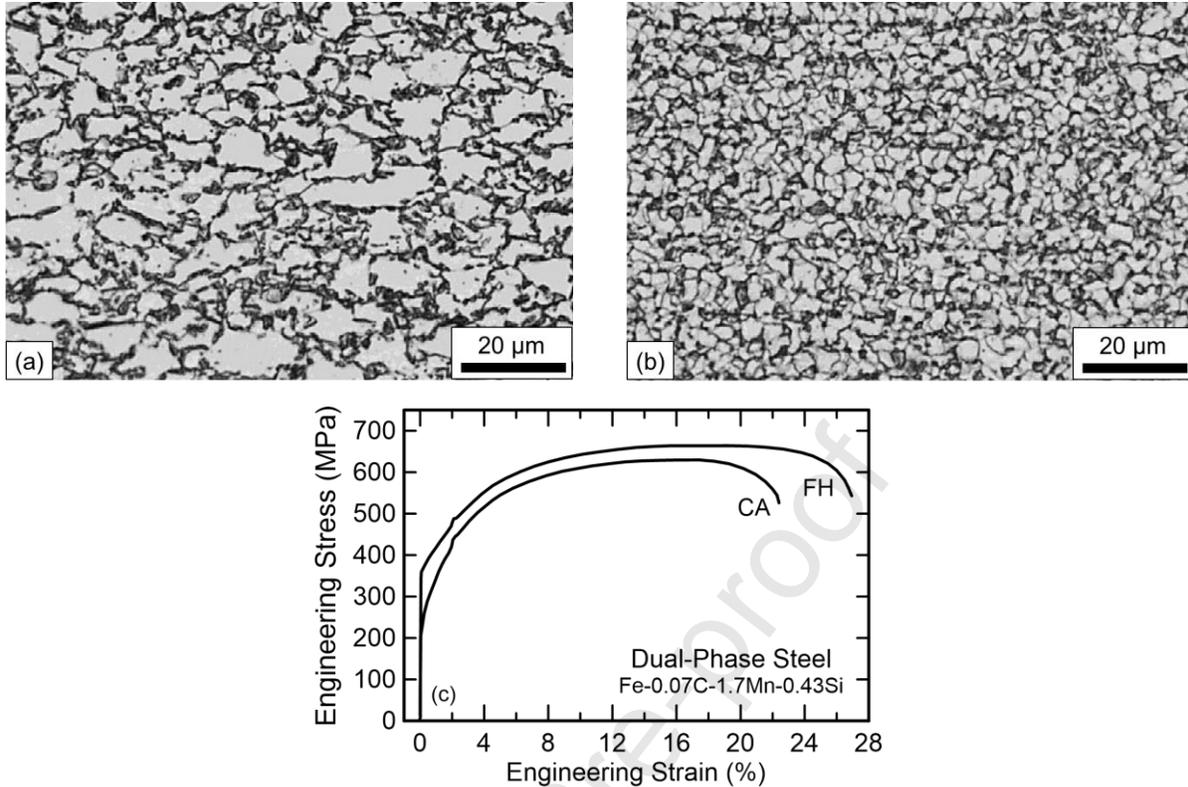


Figure 6 Light optical micrographs of a Fe-0.07C-1.7Mn-0.43Si (in wt%) dual-phase (DP) steel after (a) continuous annealing (CA) and (b) fast heating (FH), and (c) corresponding engineering stress-strain curves [23].

Several other investigators have also evaluated potential applications of rapid thermal processing for the production of dual-phase steels [18, 20, 23, 24, 47]. For example, recently Thomas and Matlock [18] evaluated the effects of starting microstructure in a Nb-microalloyed, 0.12C-1.4Mn steel (cold rolled ferrite-pearlite microalloyed steel or the same steel spheroidized prior to cold rolling), as well as heating rate and intercritical annealing temperature on the development of dual-phase steels, including assessment of the effects of processing history on the degree of banding in the final product. It was shown that by control of the extent of recovery or recrystallization of the cold worked ferritic microstructure during heating, the degree of banding could be modified. For example, with rapid heating, austenite that formed in recovered ferrite aligned along the rolling direction increased the degree of banding. The greatest degree of banding was found with intermediate heating rates leading to partial recrystallization, because austenite formed preferentially in the remaining recovered ferrite which was located in bands along the rolling direction.

Microstructural and compositional variations resulting from banding in hot rolled steel also affect the response of steel during rapid thermal processing [18]. During rapid heating, high carbon bands transform first as the A_3 temperature decreases with an increase in carbon content. If during rapid processing the time at the peak temperature is insufficient to allow complete transformation to austenite throughout a banded microstructure, then on quenching, undesirable hard and soft bands may result in the final transformed microstructure.

3.2 Quenched and Partitioned Steels

Rapid thermal processing of sheet steels has been used to obtain rapid austenitization prior to quenching and partitioning (Q&P) heat treatments. Quenching and partitioning (Q&P) is a heat-treating approach to obtain steels having a mixed microstructure of martensite and carbon-enriched retained austenite and is one attractive approach to produce third-generation advanced high strength steels (3GAHSS) [48-50]. Due to the metastable characteristics of the retained austenite, transformation induced plasticity (TRIP) may occur during deformation in Q&P processed steels to enhance strain hardening, resulting in attractive combinations of strength and ductility with properties characteristic of published 3GAHSS property bands [50, 51]. The Q&P process consists of initial reheating above the A_{c3} to obtain a fully austenitic microstructure or intercritical annealing to start with a ferrite-austenite two-phase microstructure; quenching is then applied to a so-called quenching temperature (QT) between the martensite start (M_s) and martensite finish (M_f) temperatures to obtain a controlled amount of martensite, resulting in a microstructure of martensite and untransformed austenite. After initial quenching, the sample is held at a partitioning temperature (PT) to partition carbon from martensite into austenite thereby stabilizing the latter phase after cooling to room temperature. After partitioning, the austenite has a higher C concentration than the martensite and is stabilized to room temperature if sufficiently enriched with carbon. Some “fresh” martensite may form during final quenching to room temperature depending on the C level of the austenite.

Extensive research has been undertaken since the fundamentals on the Q&P process were first published in 2003 [48, 49]. The majority of the studies focused on processing parameters other than the initial heating rate to the annealing temperature. However, recently De Knijf *et al.* [25] evaluated the effects of heating rate during Q&P processing on the microstructures and properties of a 0.25C-1.5Si-3.0Mn (wt%) cold rolled steel. All processing was based on heating to 850 °C, quenching to 270 °C, and partitioning at 400 °C for 50 s. One sample was heated to 850 °C at a rate of 10 °C/s and held for 5 min prior to quenching. Three samples were heated at 10, 500, and 1000 °C/s to 850 °C and immediately cooled at a rate of 20 °C/s to the specified quench temperature of 270 °C and then partitioned. **Figure 7** compares SEM micrographs of the conventionally Q&P processed sample that was austenitized for 5 min prior to quenching (**Figure 7a**) with a sample heated at 1000 °C/s, immediately quenched to QT and then partitioned (**Figure 7b**) [25]. As a consequence of rapid heating, **Figure 7b** shows that the resulting structure was significantly refined and included a distribution of fine undissolved cementite particles. The fine undissolved particles are presumably spheroidized remnants of pearlitic cementite present in the hot rolled steel prior to cold rolling and subsequent heating at 1000 °C/s [25], and the presence of the particles was interpreted to assist in suppression of austenite grain growth.

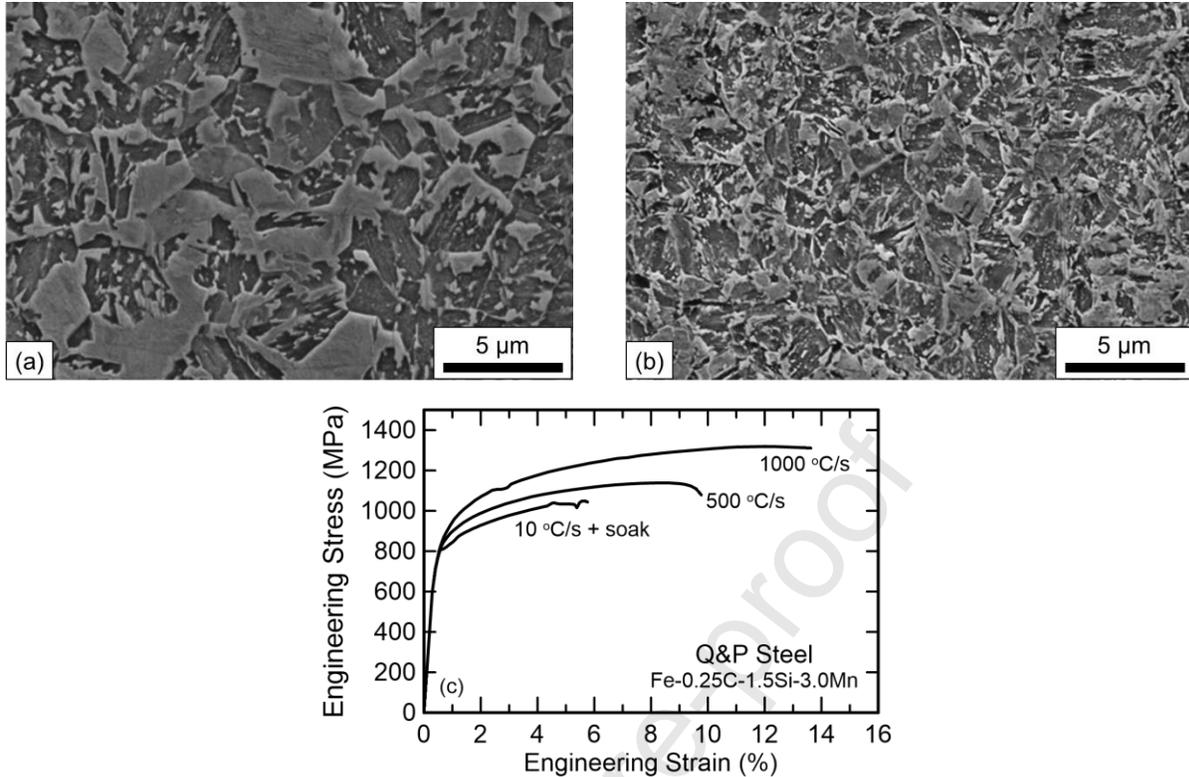


Figure 7 Effects of rapid thermal processing on the microstructures and tensile properties of a cold rolled 0.25C-1.5S-3.0Mn (wt%) steel after Q&P processing: austenitized at 850 °C; quenched to 270 °C, and partitioned at 400 °C for 50 s. Scanning electron micrograph in (a) for a sample initially heated at 10 °C/s to 850 °C and held for 5 min prior to quenching (referred to as 10 °C/s + soak) and in (b) for a sample initially heated at 1000 °C/s to 850 °C and immediately quenched. (c) Representative stress-strain curves to compare the properties of samples rapidly heated at 500 and 1000 °C/s followed by immediate quenching to QT to the sample soaked prior to the quenching and partitioning (Q&P) heat treatment [25].

Figure 7c, a compilation of engineering stress-strain curves for selected Q&P processed samples after different austenitization thermal histories, shows that strength and ductility of the samples heated at 500 and 1000 °C/s are higher than for the conventionally processed sample (indicated in the figure by “10 °C/s + soak”) [25]. For the rapidly-annealed Q&P samples which exhibited excellent properties, including ductile fracture, the higher strengths and ductilities for the two samples containing nominally 9 vol% austenite, the same as for the conventionally processed sample, were interpreted to reflect the effects of the refined microstructure, which also affected the mechanically induced transformation of austenite to martensite. The results of this study suggest that rapid thermal processing can potentially be incorporated into Q&P processing strategies, and additional research in the area is necessary to understand microstructure details and to optimize properties.

3.3 Flash Processed Steels

Sheet steel production based on rapid thermal processing, utilizing a technique sometimes referred to as “flash processing,” has been applied to a variety of “off-the-shelf” available sheet steels to produce high strength steel sheets interpreted to be representative of higher strength AHSS grades [6, 26, 27, 52]. These steels are marketed by one group under the name “Flash® Bainite” and exhibit ultimate tensile strengths nominally between 1600 and 2100 MPa. The term “flash processing” (FP) was initially used by Cola and co-workers [26, 27, 52] to describe a heat treatment process consisting of rapid heating for austenitization and subsequent cooling to room temperature. This process might be referred to more generically as “rapid heating and cooling” [26], and the required heating and cooling rates for this heat treatment typically exceed the capabilities of conventional sheet steel heat treat equipment. The total flash processing time is on the order of 10 s, with a heating rate of nominally 500 °C/s, hold times on the order of 2 to 3 s in the peak temperature range (typically of about 1000 to 1270 °C), followed by water quenching [26, 53].

Flash processing has been applied to several steel alloys in sheet form, and tensile data have been reported. The compositions, material designations, and references for alloys investigated are summarized in **Table 1**, and representative tensile properties are summarized in **Table 2** [26, 27, 54, 55]. Also included in **Table 2** are Vickers hardness (HV) values obtained by conversion from ultimate tensile strength (UTS) values [41]. The steels include plain carbon steels (AISI1020, AISI1030), alloy steels (AISI4130, AISI4140, AISI8620), a 13% Cr-containing stainless steel, and a proprietary SSAB steel designated as Domex® Protect 500. The corresponding tensile data in **Table 2** represent single sample tests for which complete engineering stress-strain curves were available and the indicated uniform and total elongations represent plastic strains calculated by subtracting elastic strains from published values. For those steels where tempering conditions were reported, this information is also included in **Table 2**. The data in **Table 2** indicate that flash processing produces sheet steel samples with ultimate tensile strengths between about 1600 and 2030 MPa with total tensile plastic strain at failure between 5.8 and 10.8 %.

Table 1 - Chemical compositions of flash processed (FP) steels heated above A_{c3} .

Steel Designation	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Co	Al	N	S	P	Cu	Ref
AISI1020	0.23	0.39	NA	0.01	0.03			0.038		0.007	0.006	0.03	[54]
AISI1030*	0.28-0.34*	0.6-0.9*								≤0.05	≤0.048		[55]
AISI4130	0.31	0.45	0.22	0.02	0.94	0.19				0.002	0.007	0.032	[54]
AISI4140	0.41	0.65	0.26		1.13	0.26				0.003	0.009		[54]
AISI8620	0.21	0.73	0.27	0.48	0.48	0.156	0.007			0.002	0.009	0.178	[26]
Domex Protect 500*	0.3*	1.3*	0.4*							≤0.01	≤0.02		[56]
13%Cr SS	0.24	0.5	0.52	0.19	12.78	0.05		0.004		0.002	0.025	0.13	[54]

*Nominal composition; actual composition not available.

Table 2 - Summary of tensile properties for representative flash processed samples for the alloys shown in Table 1. Tensile data were obtained from multiple flat specimen geometries with tensile sample widths (w) and thickness (t) summarized in the table. The HV hardness data were obtained by conversion from UTS values [41].

	Specimen Dimensions		Tempering Conditions	0.2 % Offset Yield Stress, MPa	Ultimate Tensile Strength, MPa	Uniform Strain: Plastic %	Total Strain: Plastic %	HV	Ref
	w mm	t mm							
AISI1020	12.7	1.32	Untempered	1293	1608	3.6	5.8	478	[54]
AISI1030	12.7	2.03	Not reported	1424	1811	4.3	7.7	525	[54]
AISI4130	12.8	3.20	225 °C for 660 s	1431	1856	4.3	8.8	539	[54]
AISI4140	7.16	5.92	260 °C for 1200 s	1584	2029	4.3	9.5	583	[54]
AISI8620*	6.3	1.23	Untempered	1443	1664	<4*	<8.8*	491	[26]
Domex Protect 500	12.9	1.55	210 °C for 300 s	1491	1895	4.0	7.1	548	[54]
13%Cr SS	12.7	1.57	Not reported	1353	1811	8.1	10.8	525	[27, 54]

*NOTE: Data for the highest strength of three samples reported in reference [26] - engineering stress-strain data were not provided in the publication; uniform and total plastic strains estimated based on analyses of published data [26].

The microstructures obtained by flash processing may be complex and depend sensitively on the imposed thermal cycle (particularly peak temperature and time at peak temperature) and alloy content [17, 26, 27, 38, 52, 58, 59]. Based primarily on transmission electron microscopy observations, in the initial publications on flash processing [26, 27, 52], the microstructures obtained have been interpreted to be a mixture of approximately 75 to 80% martensite and 20 to 25% bainite with the presence of some undissolved carbides. It was hypothesized that on heating, austenite forms from lower-carbon ferrite and higher-carbon pearlite resulting in austenite with an inhomogeneous carbon distribution [26, 27, 52, 60]. It was further hypothesized that during the 2 to 3 s hold times at the high peak temperatures and during rapid cooling, minimal carbon diffusion occurs, an inhomogeneous distribution of carbon in austenite is maintained, and as a result, on transformation low carbon ductile bainite can form along with high-carbon, high-strength martensite [26, 27, 52, 60].

Recently, carbide dissolution, austenite formation, and the evolution of mixed-constituent microstructures associated with non-equilibrium compositional gradients have been the subject of several publications that imposed ultra-fast heat treatments, some designed to mirror the flash processing thermal histories discussed above [17, 38, 57-59]. Metallographic analyses and DICTRA® predictions of carbide dissolution were used to assess development of mixed microstructures of martensite, bainite, undissolved carbides, and other constituents [17, 38, 57].

Microstructural data were obtained on small (10 mm x 2 mm x 1 mm) samples thermally processed in a commercial dilatometer for spheroidized medium carbon CrMo steels. Samples of a 0.43C-0.35Si-1.0Mn-1.1Cr-0.25Mo (wt%) steel were heated to 950 °C at 200 °C/s, held for 2 s, and cooled at 200 °C/s [38]. Consistent with the discussion of TTA diagrams above, undissolved carbides were present in the final microstructure. DICTRA® predictions suggested that chemical heterogeneity in C exists in austenite and the dissolution rate of carbides depends on the segregation of substitutional elements (e.g. Cr, Mn, and Mo), both of which contributed to the development of small regions of bainite in the final microstructure. In a subsequent paper on a similar spheroidized alloy steel, a 0.43C-0.4Si-1.43Mn-1.23Cr-0.1Mo (wt%) [17], DICTRA® predictions were extended to a peak temperature of 1080 °C

and metallographic images were obtained on dilatometer samples that were heated at 300 °C/s to 1080 °C, held for 2 s, and quenched. Consistent with DICTRA® predictions, a few undissolved cementite particles were reported. Interpretations of image quality maps from electron backscattered diffraction (EBSD) data suggested that small amounts of bainite may be present in the final microstructure, a consequence of local composition gradients, particularly in C and Cr. However, based on the obtained results, quantitative assessments of carbon distributions or the amount of bainite in the final microstructure were not possible. From their results on a 0.4 C (wt%) alloy with initial bainitic microstructures, Javaheri *et al.* [58] also concluded that at high heating rates austenite forms by massive transformation as opposed to a long-range diffusion-controlled transformation in conventional heat treatments [17, 61] resulting in the development of a bimodal grain size distribution not present at lower heating rates. Critical to the development of inhomogeneous carbon distributions and the final austenite structure, is the rate of carbide dissolution which increases significantly with temperature and heating rate [58] and decreases with the presence of Cr and other substitutional alloying elements in the carbides, such as Mn, as these elements concentrate near carbide-austenite interfaces during dissolution.

Further insight into the microstructures that evolve during rapid thermal processing, including flash processing, can be obtained by comparing the mechanical properties of rapidly processed steels with corresponding properties of conventionally heat-treated steels to form fully martensitic microstructures. **Figure 8** compares the engineering stress-strain data for flash processed steels with as quenched and quenched and tempered martensitic steels of nominally 0.4C or 0.2C (wt%) in **Figures 8a and 8b** respectively. **Figure 8a** compares the tensile properties of flash processed 4140 steel [54] identified in **Tables 1 and 2** with a family of tensile curves that illustrate the effects of tempering for 3600 s on the tensile properties of oil-quenched 4340 steel [42]. The flash processed 4140 steel was tempered at 260 °C for 1200 s, a significantly shorter time than the 3600 s used for the 4340 steel. Nonetheless, the flash processed 4140 steel exhibits tensile properties that mirror the properties of the low-temperature-tempered 4340 steels. Specifically, both the flash processed steel and the low temperature tempered martensitic steels exhibit continuous yielding followed by rapid initial work hardening rates, necking, post uniform elongation, and, in the case of the alloys discussed by Krauss [42], ductile fracture by void coalescence. The difference in post uniform strain between the flash processed sample and the quenched and tempered samples is interpreted to reflect differences in sample geometry. The flash processed tensile sample was a 5.93 mm thick flat sample with a 7.16 mm width and strain measured over a 50.8 mm gage length while the cylindrical 4340 samples were machined with 6.4 mm diameter by 38.1 mm long reduced sections with strain measured over a 25.4 mm gage length. For both steels, the flash processed samples display slightly higher strengths than exhibited by the corresponding quenched sample tempered at a similar temperature. As the tempering response of steels depends both on time and temperature [42] the higher strengths are interpreted to primarily reflect the shorter tempering time (1200 s) used for the flash processed steel in comparison to the tempering time of 3600 s for the 4340 steel.

Figure 8b compares the engineering stress-strain curve for the flash processed 1020 steel summarized in **Tables 1 and 2** [54] with a series of engineering stress-strain curves that were available for a 0.2C (wt%) steel containing manganese and silicon additions, 1 mm thick, in both the as-quenched (in water) and quenched and tempered conditions [62]. Similar to **Figure 8a**, the deformation behavior of the flash processed 1020 steel mirrors

the tensile behavior of the quenched and tempered 0.2C (wt%) steel indicating that the properties of the flash processed steel is dominated primarily by its martensitic microstructure.

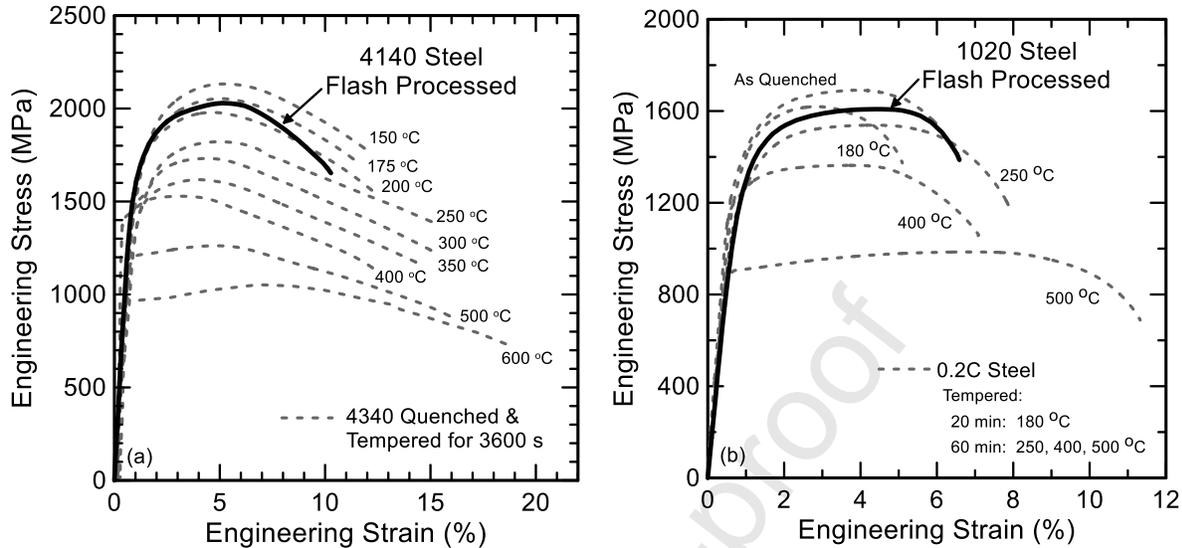


Figure 8 (a) Flash processed 4140 steel tensile curve for sample identified in Table 2 [54] overlaid on a compilation of 4340 steel tensile curves for oil-quenched samples tempered for 3600 s at the temperatures indicated [42]. (b) Flash processed 1020 steel tensile curve for sample identified in Table 2 [54] overlaid on compilation of tensile curves for samples of a 1 mm thick 0.2C-1.46Mn-1.47Si (wt%) steel in the water-quenched condition and after tempering for the times and temperatures identified in the figure legend [62]

In a recent study, the effects of heating rate on microstructure and tensile properties of cold-rolled low and medium carbon steels, were systematically evaluated on 1 mm thick cold rolled sheets of low (0.17 wt%) and medium (0.44 wt%) carbon steels processed on a Gleeble 3800® at heating rates of 10, 450, and 1500 °C/s to peak temperatures of 900 °C and 1100 °C followed by immediate (~ 0.1 s soak time) water quenching (cooling rate approximately 3000 °C/s) [59]. Sub-sized tensile samples with a 10 mm gage length and 2.5 mm width were machined from the homogeneously heat-treated zone of the thermally-processed strips. **Figure 9** shows the tensile properties plotted up to the maximum uniform strain for the 0.17C-1.08Mn-0.22Si (wt%) experimental steel heated at 10 and 1500 °C/s to 1100 °C. For reference the data are shown superimposed on selected tensile curves of the 0.2 wt% carbon steel in **Figure 8b**. Not presented here, the results for the sample heated at 450 °C/s are intermediate to the data shown [59]. The data in **Figure 9** show that with an increase in heating rate the tensile strengths (UTS values of approximately 1425 and 1495 MPa) increase, due to refinement of average and maximum martensite grain diameters (estimated as the equivalent circle diameters of the detected grains in an electron backscattered diffraction image; 6 μm v. 3.1 μm and 17.7 μm v. 9.4 μm, respectively) [59]. As with the comparisons shown in **Figure 8**, the rapidly processed 0.17 wt% carbon steel exhibits tensile deformation behavior similar to the quenched and low-temperature tempered 0.2 wt% carbon steel but at slightly lower strength levels which reflect the lower carbon content. The observations that the UTS values have limited sensitivity to heating rate (less than 5% increase for an increase of heating rate from 10 to 1500 °C/s) are consistent with the data shown in

Figure 5b where hardness results following reheating at high temperatures and quenching are shown to be essentially equivalent, i.e. independent of heating rate. While the authors [59] concluded that the mechanical properties depend primarily on the characteristics of martensite, they suggested that the decrease in yield strength with an increase in heating rate may reflect the presence of lower strength bainite or lower carbon martensite which may have formed in austenite regions with lower carbon contents.

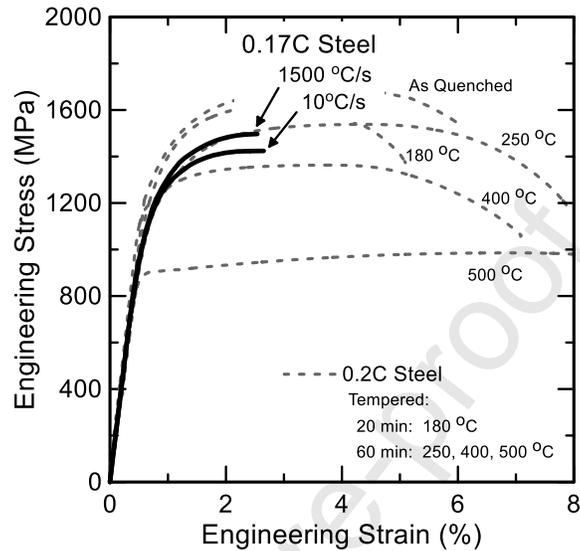


Figure 9: Tensile properties of a 0.17 wt% carbon steel heated at 10 and 1500 °C/s to 1100 °C followed by immediate quenching [59]. The tensile curves, plotted up to the point of instability are shown overlaid on the 0.2 wt% carbon steel data (dashed lines) shown in Figure 8b [62].

Additional insight into the dominant microstructural features that control mechanical properties in rapidly heat treated steels is obtained by analyzing **Figure 10** which shows the hardness values for the rapidly thermally processed steels considered here on a map of hardness as a function of steel carbon content for as-quenched and low-temperature-tempered (crosshatched area between 150 and 200 °C) martensitic microstructures from Krauss [42]. Mapped hardness points include the flash processed steels in **Table 2**, hardness values for induction hardened samples in **Figures 3 and 4**, hardness converted from UTS for the 0.17 wt% carbon steel heated at 1500 °C/s shown in **Figure 9** (hardness = 450HV converted from UTS = 1495 MPa), an induction heated 0.4 wt% carbon steel (635HV) [58], and a flash processed AISI 1023 steel discussed below (500HV) [53]. For each sample the plotted composition represents the bulk carbon content for the alloy. All samples plotted in **Figure 10** exhibit hardness values less than the maximum value associated with as-quenched martensite for the indicated carbon content. This hardness difference may arise for several different reasons. First, if some carbides remain undissolved, then the austenite carbon content is less than the bulk composition, and the resulting martensite hardness on quenching would be lower. This explains the lower strength exhibited by the 1541 steel shown in **Figure 4b**, where significant undissolved carbides are evident. Secondly, if due to compositional gradients small amounts of lower-strength bainite or other transformation products were present, these lower-strength constituents would lead to hardness values below the line representing as-quenched martensite. It is recognized that alloying differences between materials plotted in **Figures 8 to 10** are important, particularly in large-section heat treated components.

However, as the properties of quenched steels depend primarily on carbon content, the conclusions drawn from the comparisons in the figures would generally be the same if the identical base compositions were used for all alloys.

It has been proposed that unique strengthening may develop in flash processed steels to create high strengths when microstructures consist of a mixture of 80% martensite and 20% bainite [26, 27, 52], with bainite present as a consequence of the existence of low carbon zones due to the lack of carbon diffusion at the peak high processing temperatures (i.e. above 1000 °C). A proposed mechanistic interpretation [26] that would require carbon to exhibit significantly retarded diffusivity in austenite at the high temperatures associated with flash processing cycles in order to create adjacent low and high carbon regions in austenite at these temperatures appears to be in conflict with other analyses as discussed with the TTA diagrams in **Figure 2**. Furthermore, the similarity in deformation behavior between flash processed and quenched and tempered plain carbon and alloy steels shown by the stress-strain comparisons in **Figures 8a, 8b, and 9** and the hardness comparisons in **Figure 10**, also suggests that the microstructures of rapidly thermally processed steels, including those subjected to a flash processing thermal history, are probably martensite and the dominant deformation mechanisms responsible for control of the properties are similar to those operating in the low-temperature-tempered quenched and tempered steels. This latter inference is supported by data in several recent publications [53, 59]. In the recent paper [53] with authorship from the same research group that hypothesized the development of low carbon zones and mixed martensite and bainite microstructures [26, 27, 52], it was reported that a flash processed AISI 1023 steel (0.23C-0.39Mn in wt%) with an initial ferrite plus spheroidized carbide microstructure resulted in fully martensitic microstructures without the presence of undissolved carbides for all peak processing temperatures of 1070 to 1270 °C. These observations were interpreted to indicate that the carbon had redistributed in the austenite phase field [53]. To date, limited effects of tempering of rapid thermally processed steels have been reported. However, as illustrated by the data in **Figures 8 and 9**, the final properties of martensite-containing steels sensitively depend on tempering, and thus systematic studies of tempering of microstructures produced by rapid thermal processing should be considered.

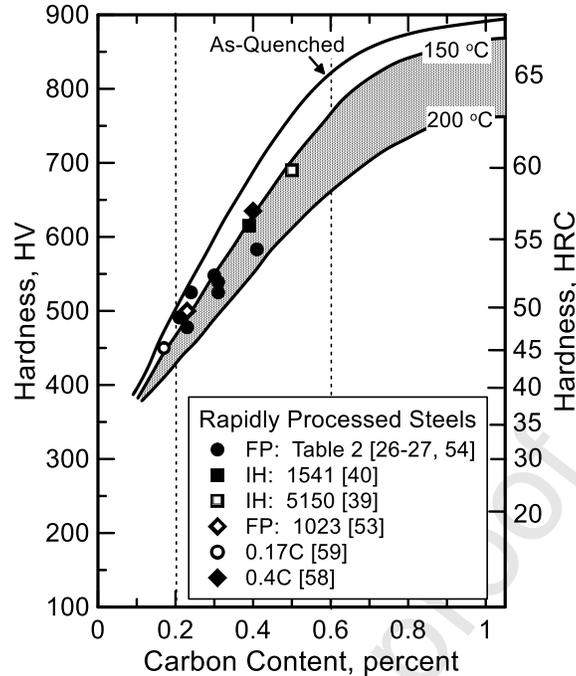


Figure 10 A comparison of the carbon content dependent hardness values for multiple rapidly thermally processed steels to a map of the hardness values of as-quenched and low-temperature-tempered conventionally heat treated steels adapted from Krauss [42]. The plotted data include the flash processed (FP) steels summarized in Table 2 [26, 27, 54], flash processed 1023 steel [53], the two induction hardened (IH) steels shown in Figures 3 and 4 for 5150 [39] and 1541 [40] steels, and two steels rapidly heated on a Gleeble 3800®, the 0.17 wt% carbon steel heated at 1500 °C shown in Figure 9 [59] and a 0.4 wt% carbon steel processed to simulate induction heating [58].

3.4 Applications to Press Hardening Steels

In the automotive industry, a thermal-mechanical processing technology referred to as hot press forming utilizes boron-modified, often nominally 0.2C (wt%), steels (referred to as “press hardening steels”) which are heated to conventional austenitizing temperatures and subsequently stamped and quenched in a die assembly to produce high strength safety-critical components (e.g. side intrusion beams, door pillars, etc.). A typical processing sequence involves furnace heating at approximately 10-12 °C/s to a temperature of 900 to 950 °C, soaking for up to 8 min, transfer to the die in <10 s, and stamping to final part in 2 s [63]. Tool pressure is maintained for 8-12 s to “die-quench” the part at a cooling rate in excess of 100 °C/s to 400 °C and then at a slower rate to below 200 °C, i.e. below the martensite finish temperature. To assess the potential to decrease typical part cycle times, applications of rapid thermal processing, i.e. rapid heating followed by short austenitization times, have been pursued to assess the response of typical press-hardening steels, e.g. 22MnB5 [29, 30].

Andreiev *et al.* [30] evaluated microstructural evolution and properties of a 22MnB5 steel (0.27C-0.31Si-1.17Mn-0.216Cr-0.0026B in wt%) processed on a special laboratory system designed to simulate hot press forming. In the as-received condition the experimental steel consisted of ferrite with well-developed pearlite bands. Samples were resistively heated using direct current at rates of about 160 °C/s to austenitizing temperatures between 830 and 900 °C, soaked for 2 s at temperature and quenched. In comparison to a conventionally treated specimen (950 °C, 300 s), both the strength and elongation levels were higher in samples subjected to the rapid heating cycle as

illustrated in **Figure 11** which compares data for a sample rapidly heated to 830 °C with data for the conventionally heat-treated sample. In comparison to the conventionally processed steel or the flash processed steels discussed above, after rapid heat treatment the transformed microstructures were significantly refined indicating that the austenite grain size was much finer due to the low peak temperature and consisted of lath features interpreted as martensite and/or bainite, decreased packet sizes, and evidence of incomplete carbide dissolution [30]. The authors hypothesized [30] that the increased strength in the rapidly heated material primarily reflected a refinement of the transformed microstructure, an observation consistent with the analyses of Kennett *et al.* [64, 65] which also showed that microstructural refinement led to an increase in toughness [65] a potential significant benefit for PHS steels [66]. Another benefit realized for press hardening steels by the use of short austenitizing times was that the extent of surface oxidation and decarburization was much less in the press hardened steels in comparison to conventionally processed steels. However, the differences in decarburized depths (about 7% of sheet thickness versus 1.5% difference for the rapidly heated sample) may also have contributed to the observed strength differences in Figure 11. Similar observations to the results of Andreiev *et al.* [30] were reported by Holzweissig *et al.* [29] for a 22MnB5 steel (0.21C-0.28Si-1.18Mn-0.18Cr-0.0028B in wt%) heated at 220 °C/s to 1000 or 1100 °C, held for times up to 15 s and quenched. All rapidly processed steels exhibited strengths greater than the conventionally heat-treated sample. While the authors hypothesized that the presence of a mixed microstructure of bainite and martensite contributed to the observed results, they also observed that martensite dominates the microstructure in samples processed with short austenitization times and that the use of short austenitization times led to significant scatter in results [29, 30].

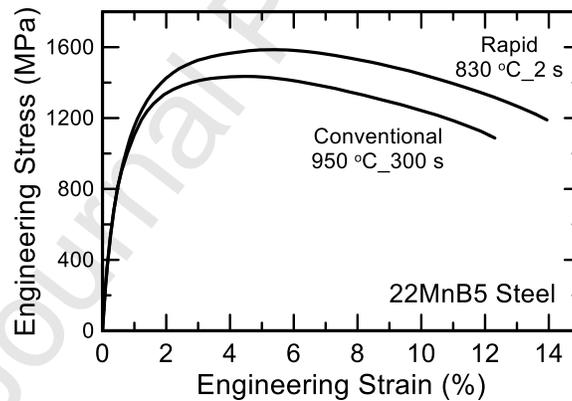


Figure 11 Engineering stress–strain curves for a 22MnB5 steel with an initial ferrite-pearlite microstructure after rapid heating (160 °C/s) to 950 °C followed by a 300 s hold prior to quenching (identified as “conventional”) and a sample quenched after a 2 s hold at 830 °C (identified as “rapid”). Data were obtained on 2 mm thick, sub-sized tensile samples with a reduced section of 8 mm and are presented here after correcting to remove displacement errors associated with machine stiffness [30].

4.0 Summary

Induction hardening of automotive components from steel bar stock is a widely-used technology, but rapid thermal processing of sheet steels to produce new AHSS grades is more in the development stage. Rapid induction heating immediately followed by water quenching has already been used commercially for a number of years to produce commercial sheet products including thin-walled tubular products with a wide range of unique

microstructures and properties. The induction heat treating literature provides a fundamental framework to assess rapid thermal processing of sheet steels leading to the potential development of new AHSS products. It is well documented, in time-temperature austenitizing diagrams and other data that critical transformation temperatures increase with heating rate and the microstructures that evolve on heating are sensitive to the alloy-dependent rate of carbide dissolution at high temperatures. However, due to contributions of thermally activated processes (e.g. diffusion, carbide dissolution, etc.) at higher temperatures (greater than about 1000 °C for the alloys shown) the effects of starting microstructure and heating rate eventually disappear in the final transformed microstructures which are essentially fully martensitic as characterized by the observed independence of room temperature hardness to peak processing temperature. As with conventional processing, the final microstructures developed after rapid heating depend on peak temperature, hold time at temperature, cooling rate (e.g. quench medium, section size, etc.) and alloy content. Local concentration gradients and other transient microstructural features, present during or immediately after rapid heating and austenite formation, are minimized at higher peak temperatures. For short times at peak temperatures, austenite grain growth is minimized which also contributes to producing refined martensitic microstructures on quenching. Other factors may also affect microstructure development during rapid thermal processing. For example, during thermal processing of cold rolled sheet steels, austenite grains generally nucleate after ferrite recovery or recrystallization. However, at higher heating rates, austenite may begin to nucleate prior to the completion of recovery or recrystallization.

In comparison to conventionally heat-treated steels, rapid thermal processing with short hold times at intercritical or higher temperatures has been shown to produce steels with enhanced properties for some processing histories leading to multi-constituent microstructures. Higher strength dual-phase steels with enhanced ductility were shown to be possible, primarily a consequence of microstructural refinement, as both the ferrite grain size and martensite island size evolved in part by minimizing grain growth during intercritical annealing. Because of the importance of dual-phase steels to the marketplace, development of dual-phase steels with improved strength-ductility combinations remains important. However, materials characteristic of the higher-ductility 3GAHSS require alternate approaches leading to microstructures with significant amounts of retained austenite with controlled stability against deformation-induced transformation to martensite. Development of quenched and partitioned steels has been shown as one promising economical route for the production of new 3GAHSS products and it was shown that the production of Q&P steels with refined microstructures and enhanced strength-ductility combinations is possible by utilizing rapid heating and short annealing times prior to imposing the remainder of the quenching and partitioning thermal history.

Higher strength, primarily martensitic steels, are possible to produce by flash processing on a variety of steel alloys and in hot press forming operations with press hardening steels. Literature suggests that steels, particularly higher alloy steels which contain Cr, develop significant concentration gradients with regions of lower carbon contents that may transform to bainite resulting in a final microstructure of martensite, bainite, and undissolved carbides [17, 27, 29, 30, 57, 59]. However, it is apparent, through comparisons with conventionally heat treated quenched and tempered steels that the final steel properties of flash processed and rapidly heated press hardening steels behave as though they are controlled by the high-volume fractions of martensite present in the

microstructures. More detailed quantitative microstructural and compositional analyses are required to characterize the constituents present after rapid thermal processing and to identify the specific processing routes to control the constituents in the final heat-treated parts and to correspondingly minimize the significant variability in properties that has been observed to date. Furthermore, for most applications of rapidly processed steels, comparisons between smaller “batch” units and large-scale continuous sheet processing configurations are lacking and in need of further analysis. This review concentrated on microstructures and properties. Further research is required to systematically assess the effects of rapid thermal processing on other properties, e.g. forming, corrosion, welding, etc.

Acknowledgements

The authors wish to recognize support from the Office of Naval Research under LIFT and from the industrial sponsors of the Advanced Steel Processing and Products Research Center at Colorado School of Mines.

Data Availability Statement

The raw/processed data required to reproduce these findings cannot be shared at this time due to technical or time limitations.

References

- [1] H. Pantzar, “Relationship between Processing Parameters, Alloy Atom Diffusion Distance and Surface Hardness in Laser Hardening of Tool Steel,” *J. of Mat. Proc. Tech.*, vol. 189, 2007, pp. 435-440. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.08.033>
- [2] S. Singh, D. Gupta, V. Jain, and A.K. Sharma, “Microwave Processing of Materials and Applications in Manufacturing Industries: A Review,” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 30, 2015, pp. 1-29. DOI: [10.1080/10426914.2014.952028](https://doi.org/10.1080/10426914.2014.952028)
- [3] GLEEBLE Large Sample Strip Annealing Mobile Conversion Unit, <https://www.gleeble.com/products/large-sample-strip-annealing-system.html> (accessed February 2017).
- [4] G.M. Cola, Jr., “Dual Phase Flash Bainite Created in 3 Second Thermal Cycle by Water Quenching,” *Proceedings, International Conference on New Developments in Advanced High-Strength Sheet Steels*, ed. by J.G. Speer, B. Nelson, and R. Pradhan, AIST, Warrendale, PA, 2008, pp. 105-114.
- [5] R.C. Gibson and R.C. Ireson, “Transverse Flux Induction Heating of Steel Strip,” *Steel Times*, vol. 220, no. 11, 1992, pp. 512-514.
- [6] D.J. Tung, T. Lolla, S.S. Babu, and G.M. Cola, Jr., “Flash Processing Produces Unique Combination of Properties in Steels,” *Advanced Materials & Processes*, vol. 171, no. 11, 2013, pp. 48-50.
- [7] C. Lesch, P. Alvarez, W. Bleck, and J.Gil Sevillano, “Rapid Transformation Annealing: A Novel Method for Grain Refinement of Cold-Rolled Low-Carbon Steels,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 38A, 2007, pp. 1882-1890. <https://doi.org/10.1007/s11661-006-9052-y>
- [8] D. Muljono, M. Ferry, and D.P. Dunne, “High-Rate Induction Annealing of Cold Rolled Low Carbon Steel Sheet,” in *Proceedings of 39th ISS Mechanical Working and Steel Processing Conference*, ISS, Warrendale, PA, Vol. XXXV, 1998, pp. 667-672.
- [9] F.M. Castro Cerda, L.A.I. Kestens, A. Monsalve, and R.H. Petrov, “The Effect of Ultrafast Heating in Cold-Rolled Low Carbon Steel: Recrystallization and Texture Evolution,” *Metals*, vol. 6, no. 11, 2016, 288, 14 pages; <https://doi.org/10.3390/met6110288>
- [10] R.A. Grange, “The Rapid Heat Treatment of Steel,” *Metallurgical Transactions*, vol. 2, 1971, pp. 65-78. <https://doi.org/10.1007/BF02662639>
- [11] J. Prohaszka, “Phase Transformations in Steel during Rapid Heat Treatment,” *Periodica Polytechnica. Engineering. Mechanical Engineering*, vol. 32.2, 1988, pp. 87-96.
- [12] H. Azizi-Alizamini, M. Militzer, and W. J. Poole, “Austenite Formation in Plain Low-Carbon Steels,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 42, no. 6, 2011, pp. 1544–1557. <https://doi.org/10.1007/s11661-010-0551-5>
- [13] M. Kulakov, W. J. Poole, and M. Militzer, “The Effect of the Initial Microstructure on Recrystallization and Austenite Formation in a DP600 Steel,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 44, no. 8, 2013, pp. 3564–3576. <https://doi.org/10.1007/s11661-013-1721-z>
- [14] V. Andrade-Carozzo and P. J. Jacques, “Interactions between Recrystallisation and Phase Transformations during Annealing of Cold Rolled Nb-Added TRIP-Aided Steels,” *Materials Science Forum*, vol. 539, no. 2,

- 2007, pp. 4649–4654. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.539-543.4649>
- [15] R. R. Mohanty, O. A. Girina, and N. M. Fonstein, “Effect of Heating Rate on the Austenite Formation in Low-Carbon High-Strength Steels Annealed in the Intercritical Region,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 42, no. 12, 2011, pp. 3680–3690. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0753-5>
- [16] R. H. Petrov, J. J. Sidor, W. Kaluba, and L. A. Kestens, “Grain Refinement of a Cold Rolled TRIP Assisted Steel after Ultra Short Annealing,” *Materials Science Forum*, vol. 715, pp. 661-666, Apr. 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.715-716.661>
- [17] S. Papaefthymiou, A. Banis, M. Bouzouni, and R.H Petrov, “Effect of Ultra-Fast Heat Treatment on the Subsequent Formation of Mixed Martensitic/Bainitic Microstructure with Carbides in a CrMo Medium Carbon Steel,” *Metals*, vol 9(3), 2019, 312, 14 pages. <https://doi.org/10.3390/met9030312>.
- [18] L.S. Thomas and D.K. Matlock, “Formation of Banded Microstructures with Rapid Intercritical Annealing of Cold-Rolled Sheet Steel,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 49A, 2018, pp. 4456-4473. DOI: 10.1007/s11661-018-4742-9. <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4742-9>
- [19] D.K. Matlock, “Metallurgy of Induction Hardening Steel,” *ASM Handbook, Volume 4C, Induction Heating and Heat Treatment*, V. Rudnev and G.E. Totten, editors, ASM International, Materials Park, OH, 2014, pp. 45-57.
- [20] P. Shanmugam and K.R. Karthikeyan, “Dual Phase Steel Tubes for Automotive Applications,” *International Conference on Advanced High Strength Sheet Steels for Automotive Applications Proceedings*, edited by J.G. Speer, AIST, Warrendale, PA, 2004, pp. 171-178.
- [21] P. Shanmugam and K. Srinivas, "Mechanical Behavior of Dual Phase Steel Tubes and Its Application in Automotive Industries," SAE Technical Paper 2005-01-1334, 2005, doi:10.4271/2005-01-1334.
- [22] I.I. Galvan, G. McClelland, E. Gagen, and G. Piller, “In-Line Quench and Temper Technology Applied to CT Improves Safety and Reliability in Extended Reach U.S. Shale Operations,” Society of Petroleum Engineers, SPE-194255-MS, 2019. <https://doi.org/10.2118/194255-MS>.
- [23] Q. Meng, J. Li, and H. Zheng, “High-Efficiency Fast-Heating Annealing of a Cold-Rolled Dual-Phase Steel,” *Materials and Design*, vol. 58, no. 1, 2014, pp. 194-197. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.055>
- [24] G.M. Cola, Jr., “Dual-Phase Flash® Bainite Created in 3 Second Thermal Cycle by Water Quenching,” *Proceedings, International Conference on New Developments in Advanced High-Strength Sheet Steels*, ed. by J.G. Speer, B. Nelson, and R. Pradhan, AIST, Warrendale, PA, 2008, pp. 105-114.
- [25] D. De Knijf, A. Puype, C. Föjer, and R. Petrov, “The Influence of Ultra-Fast Annealing Prior to Quenching and Partitioning on the Microstructure and Mechanical Properties,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 627, no. 1, 2015, pp. 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.12.118>
- [26] T. Lolla, G. Cola, B. Narayanan, B. Alexandrov, and S.S. Babu, “Development of Rapid Heating and Cooling (Flash Processing) Process to Produce Advanced High Strength Steel Microstructures,” *Materials Science and Technology*, vol. 27, no. 5, 2011, pp. 863-875. <https://doi.org/10.1179/174328409X433813>
- [27] G.M. Cola Jr., “Flash Bainite: Room Temp Stamping 1600 MPa Structural and Energy Absorbing Components to OT/IT Bend Radii at a Cost Savings,” presented at the International Automotive Body Congress, September 28-29, 2016, Dearborn, MI, 16 pages.
- [28] G.M. Cola Jr., “Properties of Bainite Nucleated by Water Quenching in 80 ms,” in *Proceedings of the 1st International Symposium on Steel Science*, T. Furuhashi and K. Tsuzaki, Eds. Tokyo, Japan: The Iron and Steel Institute of Japan, 2007, pp. 187-190.
- [29] M.J. Holzweissig, J. Lackmann, S. Konrad, M. Schaper, and T. Niendorf, “Influence of Short Austenitization Treatments on the Mechanical Properties of Low-Alloy Steels for Hot Forming Applications,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 46, no. 7, 2015, pp. 3199-3207. <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2907-3>
- [30] A. Andreiev, O. Grydin, and M. Schaper, “Evolution of Microstructure and Properties of Steel 22MnB5 due to Short Austenitization with Subsequent Quenching,” *Steel Research International*, vol. 87, no. 12, 2016, pp. 1733-1741. <https://doi.org/10.1002/srin.201600086>
- [31] G. Krauss, *Steels Processing, Structure, Properties*, ASM International, Materials Park, OH, 2005, p. 28.
- [32] S.L. Semiatin and D.E. Stutz, *Induction Heat Treatment of Steel*, ASM, Metals Park, OH, 1986, p. 88.
- [33] W.J. Feuerstein and W.K. Smith, “Evaluation of Critical Temperatures in Steel by High Heating Rates,” *Trans. ASM*, Vol. 46, 1954, pp. 1270-1284.
- [34] Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams, ASM, Metals Park, OH, 1977.

- [35] K.D. Clarke, "The Effect of Heating Rate and Microstructural Scale on Austenite formation, Austenite Homogenization, and As-Quenched Microstructure in Three Induction Hardenable Steels," PhD Thesis, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2008, pp. 12-15, p. 138.
- [36] *Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle*, vol. 3, Zeit-Temperatur-Austenitisierung-Schaubilder, J. Orlich, A. Rose, and P. Wiest, Ed., Verlag Stahleisen M.B.H Düsseldorf, Germany, 1973, p. 79.
- [37] *Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle*, vol. 4, Zeit-Temperatur-Austenitisierung-Schaubilder, J. Orlich and H.J. Pietrzeniuk, Ed., Verlag Stahleisen M.B.H Düsseldorf, Germany, 1976, pp. 37-50.
- [38] S. Papaefthymiou, M. Bouzouni, and R.H. Petrov, "Study of Carbide Dissolution and Austenite Formation during Ultra-Fast heating in Medium Carbon Chromium Molybdenum Steel," *Metals*, vol. 8, no. 8, 2018, 646, 17 pages. <https://doi.org/10.3390/met8080646>
- [39] D.J. Medlin, G. Krauss, and S.W. Thompson, "Induction Hardening Response of 1550 and 5150 Steels with Similar Prior Microstructures," *Proceedings of 1st International Conference on Induction Hardening of Gears and Critical Components*, Gear Research Institute, Evanston, IL, 1995, pp. 57-66.
- [40] J.J. Coryell, D.K. Matlock, and J.G. Speer, "The Effect of Induction Hardening on the Mechanical Properties of Steel with Controlled Prior Microstructures," *Heat Treating for the 21st Century: Vision 2020 and New Materials Development - Proceedings of Materials Science & Technology*, AIST, Warrendale, PA, 2005, pp. 3-14.
- [41] "Hardness Tests and Hardness Number Conversions – SAE J417," *1985 SAE Handbook, Volume 1*, SAE Warrendale, PA 1985, p. 3.05.
- [42] G. Krauss, *Steels*, pp. 362-375.
- [43] Misaka, Y., Kiyosawa, Y., Kawasaki, K., Yamazaki, T., and W.O. Silverthorne, "Gear Contour Hardening by Micropulse® Induction Heating System," SAE Technical Paper 970971, 1997, <https://doi.org/10.4271/970971>.
- [44] K.D. Clarke, C.J. Van Tyne, C.J. Vigil, and R.E. Hackenberg, "Induction Hardening 5150 Steel -- Effects of Initial Microstructure and Heating Rate", *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 20, 2011, pp. 161-168. <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9825-8>
- [45] Semiatin and Stutz, *Induction*, p. 92.
- [46] A. Abraham, "Metallic Material Trends in the North American Light Vehicle," 2015 Great Designs in Steel Presentation, May 13, 2015, <http://www.autosteel.org/great-designs-in-steel/past-gdis-presentations/gdis-2015.aspx>. (accessed February 2017).
- [47] D.J. Hillis, D.T. Llewellyn, and P.J. Evans, "Rapid Annealing of Dual Phase Steels," *Ironmaking & Steel Making*, vol. 25, 1998, pp. 47-54.
- [48] J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, and J.G. Schroth, "Carbon Partitioning into Austenite after Martensite Transformation," *Acta Materialia*, vol. 51, no. 9, 2003, pp. 2611-2622. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(03\)00059-4](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(03)00059-4)
- [49] D.K. Matlock, V.E. Bräutigam, and J.G. Speer, "Application of the Quenching and Partitioning (Q&P) Process to a Medium-carbon, High-Si Microalloyed Bar Steel," *Materials Science Forum*, vols. 426-432, no. 1, pp. 1089-1094, 2003. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.426-432.1089>
- [50] A. Taub, E. De Moor, A. Luo, D.K. Matlock, J.G. Speer, and U. Vaidya, "Materials for Automotive Lightweighting," *Annual Review of Materials Research*, vol. 49, 2019, pp. 327-359. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010134>
- [51] WorldAutoSteel. 2017. Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 6.0. <https://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/>. (Accessed Oct. 2018)
- [52] G.M. Cola, Jr., "Replacing Hot Stamped, Boron, and DP1000 with 'Room Temperature Formable' Flash® Bainite 1500 Advanced High Strength Steel," *Proceedings of the 28th ASM Heat Treating Society Conference*, ASM International, Materials Park, Ohio, 2015, pp. 21-28.
- [53] B. Shassere, S.S. Babu, G. Cola, T. Muth, and T. Watkins, "Microstructure Control and Correlation to Formability of Low Alloy Steel via Flash Processing," *Proc. of Materials Science and Technology (MS&T18)*, Oct. 14-18, 2018, Greater Columbus Convention Center, Columbus, OH, 2018, pp. 321-328 DOI 10.7449/2018/MST_2018_321_328.
- [54] G.M. Cola Jr., Private communication, Washington, MI, (2016).
- [55] ASM Metals Handbook, 9th edition, Vol. 1, *Properties and Selection: Irons and Steels*, ASM, International, Materials Park, Ohio, 1978, p. 125.
- [56] SSAB Data Sheet, "Hot Rolled, Ballistic Protection Steel Domex Protect 500," 06-01-24, GB8407Domex, <http://www.arcem-international.com/pdf/GB8407DomexProtect%20500.pdf>, (Accessed, March 2017).

- [57] A. Banis and S. Papaefthymiou, "Microstructure Characterization of an Ultra-Fast heated Medium Carbon Chromium-Manganese high Strength Steel," *International Journal of Metallurgy and Metal Physics*, 3:021, DOI: [10.35840/2631-5076/9221](https://doi.org/10.35840/2631-5076/9221)
- [58] V. Javaheri, S. Kolli, B. Grande, D. Porter, "Insight into the Induction Hardening Behavior of a New 0.40% C Microalloyed Steel: Effects of Initial Microstructure and Thermal Cycles," *Materials Characterization*, vol. 149, no. 3, 2019, pp. 165-183. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.01.029>
- [59] F.M. Castro Cerda, B. Schulz, d. Celentano, A. Monsalve, I. Sabirov, and R.H. Petrov, "Exploring the Microstructure and Tensile Properties of Cold-rolled Low and Medium Carbon Steels after Ultrafast Heating and Quenching," *Materials Science and Engineering A*, vol. 745, 2019, pp. 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.12.036>
- [60] S.S. Babu, Private communication, Oak Ridge, Tennessee, 2019.
- [61] J.G. Speer and R.J. Gaster, "Austenitizing in Steels," *ASM Handbook*, Volume 4A, *Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*, J. Dossett and G.E. Totten, editors, ASM International, Materials Park, OH, 2013, pp. 309-316.
- [62] L. Addressio, "The Effect of Strain Rate and Tempering on the Mechanical Properties of Low Carbon Martensite," MS Thesis, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2007.
- [63] T. Taylor & A. Clough, "Critical Review of Automotive Hot-Stamped Sheet Steel from an Industrial Perspective," *Materials Science and Technology*, vol. 34, no. 7, 2018, pp. 809-861, <https://doi.org/10.1080/02670836.2018.1425239>.
- [64] S.C. Kennett, G. Krauss, K.O. Findley, "Prior Austenite Grain Size and Tempering Effects on the Dislocation Density of Low-C Nb-Ti Microalloyed Lath Martensite," *Scripta Materialia*, vol. 107, 2015, pp. 123-126. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2015.05.036>
- [65]. S.C. Kennett, K.O. Findley, "Strengthening and Toughening Mechanisms in Martensitic Steel," *Advanced Materials Research*, vol. 922, 2014, pp. 350-355. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.922.350>
- [66] L. Golem, L. Cho, J.G. Speer, K.O. Findley, "Influence of Austenitizing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si Coated Press Hardened Steel," *Materials & Design*, vol. 172, 2019, 107707. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107707>.

Declaration of competing interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests:

Journal Pre-proof

Highlights

- Rapid thermal processing refines heat-treated steel microstructures
- Induction and flash processing may lead to primarily martensitic microstructures
- Dual-phase and quenched and partitioned steel properties enhanced by rapid processing

Journal Pre-proof

Objectifs de l'activité

- Rédiger selon le modèle du mémoire de fin de cycle adopté par le Département de Génie Mécanique pour se familiariser avec ce modèle.
- Apprendre à présenter un travail en respectant tous les critères de soutenance.

Travail demandé

1. Faire le résumé du mémoire de licence en suivant le modèle de rédaction du mémoire de master mis à la fin du cours dans la plateforme Moodle.

Le travail peut être réalisé en binôme.

Le résumé doit contenir les éléments suivants :

- une introduction (1 à 2 pages)
- chapitre 1 : descriptif du mémoire et objectifs (pas plus de 5 pages)
- chapitre 2 : les résultats les plus importants (pas plus de 5 pages)
- conclusion.

Les points suivants sont à retenir :

- la page de garde et tout le travail doit être rédigé selon le modèle de rédaction. Si ce n'est pas le cas, le binôme aura moins de 10/20
- ceux qui ne veulent pas résumer leur mémoire de licence peuvent résumer le contenu du mémoire de master s'ils ont déjà un thème. Ils doivent remplacer le chapitre 2 (celui des résultats) par une petite recherche bibliographique sur leur thème. Ceci leur permettra de gagner du temps dans la préparation du mémoire de master.

Les travaux doivent être envoyés en format PDF par e – mail.

2. Soutenir le résumé en préparant les diapositives. La présentation orale doit durer 10mn et suivie des réponses aux questions.

Mode d'évaluation

Type de l'activité 1	Délai de remise du travail	Notation	Réalisation
Evaluation finale	05 semaines	Globale : 20 pts	Monôme ou binôme
		Mise en forme : 10 pts	
		Contenu : 02 pts	
		Présentation orale : 08 pts	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arrêté n° 933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat.

HARMON J. E., GROSS A. G. *The craft of scientific communication*. The University of Chicago Press, USA, 2010.

HOLTOM D., FISHER E. *Enjoy writing your science thesis or dissertation*. Imperial College Press, 1999.

http://www.bibliotheques.uqam.ca/InfoSphere/sciences_humaines/index.html

KALIKA M. *Le mémoire de master*. 4^e édition, Dunod , France, 2016.

LEBRUN J. L. *Guide pratique de rédaction scientifique*. EDP Sciences, France, 2007.

LIBRERO F. R. *Writing your thesis*. UP Open University Office of the Philippines, Philippines, 2012.

LIPSON C. *How to write a BA thesis*. University of Chicago press, USA, 2005.

MICONNET C., FALLER A. *Bibliographie et références bibliographiques*. SCD de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Mis en ligne le 11 janvier 2012. 1 / 10.

MULLER MOORE K., LAN CASSEL S. *Technics for college writing*. Wadsworth Cengage Learning, USA, 2011.

SWETNAM D. *Writing your dissertation*. 3rd edition, How to content, United Kingdom, 2004.

Université d'Avignon. *Méthodologie de la recherche documentaire : principes clés*. Service formation des publics, France.