

3 Procedimento Experimental

3.1 Amostras de Têmpera e Partição

As ligas estudadas foram projetadas e produzidas na Universidade de Gent com base na liga 0,40%C- 1,39%Mn- 1,37%Si- 1,34%Ni- 0,76%Cr- 0,52%Mo. Utilizando a equação abaixo optou-se pela adição de níquel e manganês a fim de diminuir a temperatura de início da transformação bainítica. Para tentar suprimir a formação de carbonetos durante o processo de partição adicionou-se silício á liga.

$$Bs (^{\circ}C) = 830 - 270\%C - 90\%Mn - 37\%Ni - 70\%Cr - 83\%Mo$$

As ligas Q1 e Q3 foram projetadas para serem totalmente austenitizadas enquanto as ligas Q2 e Q4, com menos carbono, foram projetadas para serem tratadas intercriticamente produzindo austenita retida com os mesmos teores de carbono que as ligas Q1 e Q3. As ligas Q3 e Q4 possuem um teor maior de níquel que as ligas Q1 e Q2, visando manter a temperatura de início da transformação bainítica abaixo da temperatura de partição. Os valores das ligas projetadas são apresentados na tabela 1 e os valores das ligas produzidas estão na tabela 2.

Tabela 1. Ligas Projetadas

Identificação da Liga	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	Ms °C	Bs °C
Q 1	0,4	1,6	1,5	1,4	0,75	287	441
Q 2	0,2	1,6	1,5	1,4	0,75	371	495
Q 3	0,4	1,6	1,5	5	0,75	312	308
Q 4	0,2	1,6	1,5	5	0,75	308	362

Tabela 2. Ligas Produzidas

Identificação da Liga	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	Ms °C	Bs °C
Q 1	0,37	2,45	2,27	1,47	0,8	0,58	273	367
Q 2	0,22	2,49	2,42	1,39	0,72	0,49	335	410
Q 3	0,39	2,64	2,39	4,83	0,78	0,5	202	235
Q 4	0,28	3,0	2,37	5,3	0,71	0,6	242	245

As amostras estudadas foram produzidas por um processamento termo-mecânico de fabricação do material constituído da seguinte seqüência: lingotes de 15 kg, aquecidos a 1250°C foram laminados a quente até uma espessura de 25 mm e resfriados ao ar. O material foi então seccionado e novamente aquecido a 1250°C, laminado até uma espessura final de 1,5 mm e resfriado por jato de água até a temperatura de 600°C [3].

Após o processamento termo-mecânico, as amostras foram austenitizadas em banho de sal por 300s a 930°C e depois temperadas em temperaturas específicas para cada liga durante 10s. Após a têmpera, foi realizada a partição em temperaturas de 350°C, 400°C e 450°C por 10s, 30s, 100s e 1000s conforme o esquema abaixo para diferentes amostras em um total de 42 amostras (Figura 3.1).

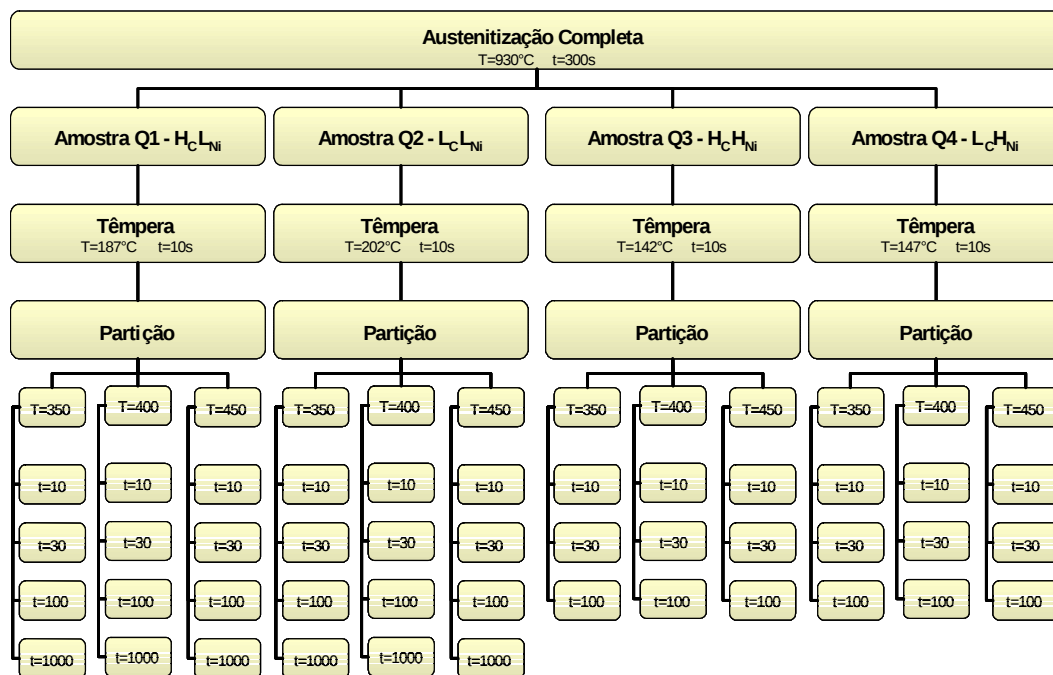


Figura 3-1. Esquema do tratamento térmico realizado nas amostras.

3.2 Microscopia Ótica

Todas as amostras utilizadas nesta dissertação foram analisadas utilizando um Microscópio Óptico Zeiss AxioPlan 2ie. Os ataques químicos utilizados diferiram de acordo com as amostras e com a finalidade dos ataques. Para analisar a microestrutura das amostras de têmpera e partição foi utilizado Nital 2%. Para definir os contornos prévios de grão das amostras de têmpera e partição foi utilizado o ataque proposto por Liang Zhang e Dong Cheng Guo, utilizando um tempo de imersão de 40 a 90 minutos. Este ataque consiste na solução aquecida entre 120 e 130°C contendo 100ml de água destilada, 50g de hidróxido de sódio, 10g de trióxido de cromo e 1,5g de ácido pícrico [36].

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

As amostras analisadas por microscopia eletrônica de varredura foram polidas com pasta de diamante até $1\mu\text{m}$ e atacadas com Nital 2%. Foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura ZEISS, modelo DSM 960 para analisar as amostras por elétrons secundários.

3.4 Difração de Raios-X

A técnica de difração de Raios-X foi utilizada para a determinação da fração de austenita retida. O ensaio utilizou um Difratorômetro Bruker D-5000 operado a 40kW, 35mA e utilizando um monocromador de grafite. As amostras foram varridas de forma contínua na faixa de 40° a 105° , com passo de $0,02^\circ$. As intensidades dos picos {111}, {200}, {220} e {311} da austenita, assim como os {110}, {200}, {211} e {220} da ferrita foram analisadas usando um programa de ajustes. A metodologia proposta por Rietveld foi utilizada para proceder à quantificação da fração volumétrica das fases presentes [3].

3.5 Nanoindentação

Os ensaios de nanoindentação foram realizados no CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) utilizando um nanoindentador TriboScope - Nanomechanical Testing System, fabricado pela Hysitron Inc para caracterizar as fases presentes nas ligas estudadas.

As amostras Q3 foram preparadas por polimento com pasta de diamante de $1\mu\text{m}$ sem e com ataque de nital 2%, e com OPS (Oxide Polishing Solution da Struers) e os ensaios foram realizados com carga $5000\mu\text{N}$.

As amostras Q4 foram preparadas por polimento com pasta de diamante de $1\mu\text{m}$ ataque de nital 2% e os ensaios foram realizados com cargas de $2000\mu\text{N}$, $5000\mu\text{N}$ e $10000\mu\text{N}$.

3.6 Simulação do Tratamento Intercrítico

A simulação do tratamento intercrítico foi feita utilizando os softwares ThermoCalc e Dictra. O software ThermoCalc foi utilizado no cálculo do diagrama de fases da liga Q2 para visualizar a janela de tratamento intercrítico e a temperatura ótima para produzir uma austenita com teor de carbono de 0,4% como pretendido no projeto da liga.

Com a temperatura de 767°C definida no ThermoCalc como sendo a temperatura na qual a austenita possui um teor de 0,4% de carbono, o software Dictra foi utilizado para calcular a difusão do carbono na ferrita e na austenita e a movimentação da interface austenita/ferrita. Nesta simulação, uma placa de ferrita nucleia a partir de uma placa de austenita de 10µm na temperatura de 767°C e um gráfico é gerado mostrando a difusão do carbono em ambas as fases e a movimentação da interface. Com o resultado da simulação pode-se estimar o tempo necessário para que a microestrutura desejada seja atingida.

3.7 Tratamento Intercrítico

O tratamento intercrítico foi feito, inicialmente, aquecendo-se amostras Q2 da temperatura ambiente até a temperatura desejada de 767°C por 3 horas. Como a microestrutura deste tratamento térmico não resultou em uma microestrutura com ferrita equiaxial, como desejado, um segundo tratamento intercrítico foi realizado.

No segundo tratamento intercrítico as amostras foram totalmente austenitizadas a 930°C por 30 minutos e depois recozidas a 767°C por 3 horas. Outras temperaturas também foram utilizadas na faixa entre 700°C e 805°C.