

ESTUDO DA CEMENTAÇÃO PARA O AÇO SUPER C1

Discipilina de

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA I

do curso de

ENGENHARIA MECÂNICA

Por André Ferreira e João Galante

Maio 2012

Agradecimentos:

Eng. Jorge Lino

Emilia do Rosário Rocha Soares

Eng. Lucas Filipe da Silva

SIGLAS E ACRÓNIMOS

A % – Extensão após rotura

AC3 – Têmperatura de austenitização

C – Símbolo do elemento químico carbono

HB – Dureza Brinell

HV – Dureza Vickers

HRC – Dureza Rockwell C

Mn – Símbolo do elemento químico manganês

Rm – Tensão de rotura

Rp 0.2 – Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%

TC – (Diagrama de) Transformação Contínua

VCST – Velocidade Crítica Superior de Têmpera

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO ……..……..……..…… 1

II. DADOS PRÉ-TRATAMENTO ……..……..……. 2

Características ténicas do aço em estudo …….. 2

Composição química ……..……..……. 2

Normas ……..……..…… 2

Características mecânicas……..……..… 2

Sobre a adição de manganês em aços……..…… 3

Acerca dos aços de corte fácil ……..…… 3

Resumo da informação do aço Super C1……..…… 3

III. ESTUDO DO MATERIAL FORNECIDO……..…….. 5

Determinação teórica de AC3……..……. 5

Microestrutura do aço Super C1……..…… 6

Dureza do aço Super C1……..……..…… 8

IV. TRATAMENTOS TÉRMICOS REALIZADOS ……..…… 9

Cemento……..……..……..… 9

Tempo de aquecimento ……..……..…… 10

Tempo de estágio……..……..…… 10

Arrefecimentos……..……..…… 10

Tratamentos subsequentes……..……. 11

V. PREVISÃO DOS RESULTADOS……..……..…….. 12

Considerações gerais sobre o processo de cementação …… 12

Previsão da profundidade de cementação …….. 12

Previsão da microestrutura ……..…….. 13

Previsão da dureza da camada cementada

e da dureza após têmpera……..……. 15

VI. RESULTADOS EXPERIMENTAIS……..…… 17

Provete 1 (1 hora, 870ºC) ……..……. 17

Dureza……..……..…… 17

Microestrutura……..……. 18

Provete 2 (1 hora, 930ºC) ……..…… 19

Dureza……..……..…….. 19

Microestrutura……..…… 20

VII. ESTUDO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS …… 21

VIII. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS……..……. 23

IX. BIBLIOGRAFIA……..……..……..……. 24

X. WEBGRAFIA ……..……..……..…… 25

XI. ANEXOS ……..……..……..……. 26

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas do aço Super C1……..……..... 2

Tabela 2 – Composição química (%peso) ……..…… 2

Tabela 3 – Normas ……..……..……..……... 2

Tabela 4 – Características mecânicas ……..……..……. 2

Tabela 5 – Medições de dureza no provete de controlo ……..…….. 8

Tabela 6 – Dureza do provete 1……..……..…….. 17

Tabela 7 – Dureza do provete 2……..……..…….. 19

ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1 - Estrutura micrográfica aço Super C1 7
Imagem 2 - Análise das percentagens de constituintes..... 8
Imagem 3 - Medições de dureza no provete de controlo 8
Imagem 4 - Tratamento térmico do provete 1 9
Imagem 5 - Tratamento térmico do provete 2 9
Imagem 6 - Tempo vs profundidade cementação 13
Imagem 7 - Diagrama TC, aço X32..... 14
Imagem 8 - Dureza após têmpera sem cementação 15
Imagem 9 - Dureza após cementação, %C>0.8 (superfície)..... 16
Imagem 10 - Profundidade de cementação 17
Imagem 11 - Microestrutura no núcleo do provete 1..... 18
Imagem 12 - Microestrutura na periferia do provete 1 19
Imagem 13 - Microestrutura no provete 2 20
Imagem 14 - Diagrama da dureza do provete 1 em função da proximidade ao núcleo.... 21

INTRODUÇÃO

Com este trabalho prático pretendemos estudar os efeitos da cementação sólida no aço Super C1, nomeadamente profundidade de cementação, variações de dureza e microestrutura, e os seus porquês. Estudaremos esses efeitos usando três provetes do referido aço, tendo um deles a função de controlo, com os quais os outros dois serão comparados.

Vamos assumir que o leitor está familiarizado com os termos e definições gerais do âmbito desta disciplina, pelo que não serão dadas definições de termos que se é suposto saber ao ler um relatório sobre o tratamento de um aço, exceto aqueles que estão diretamente ligados a este trabalho em específico, ou que nos foram explicitamente pedidos de explicar.

DADOS PRÉ-TRATAMENTO

Tabela 1 - Características técnicas do aço em estudo [1w]

Classe	Família	Marca	Perfis disponíveis	Estado fornecido
Aços de construção (corte fácil)	2510	Super C 1	∅ □	Estirado

Tabela 2 - Composição química (%peso) [1w]

C	Si	Mn	Cr, Mo, Ni, V, W	Outros
≤ 0.15	≤ 0.05	≤ 1.20	0	P ≤ 0.10, S - 0.33

Tabela 3 – Normas [1w]

EURONORM	AISI	UNE	DIN	W.NRº
11SMn37 11SMn30	1215 1213	F-2111	9 SMn 36 K 9 SMn 28 K	1.0736 1.0715

Tabela 4 - Características mecânicas [1w]

Dureza (HB)	Rm (Kg/mm²)	Rp 0,2 (Kg/mm²)	A% ($L_0 = 5$)
[1]	≥ 39	≥ 25	≥ 6

[1] Será determinado experimentalmente no curso do trabalho prático visto não vir no catálogo do fornecedor do aço [1w].

Sobre a adição de manganês em aços

O manganês é um meio barato de aumentar a temperabilidade, sendo que também aumenta a soldabilidade e o limite de resistência à tração, com diminuição insignificante da tenacidade [3]. Combina-se com o enxofre para formar sulfuretos de manganês, reduzindo a formação dos sulfuretos de ferro e de outros elementos – componentes indesejáveis nos aço pois provocam fragilidade a quente e possivelmente formação de bolhas.

Acerca dos aços de construção (corte fácil)

Tratam-se de aços de baixa dureza e alta ductilidade, fáceis de serem trabalhados e moldados. São aços de aplicações gerais, permitem bom acabamento e elevadas velocidades de corte. Destinam-se a peças de baixa resistência mecânica. Entre as suas aplicações típicas estão as chapas automobilística, perfis estruturais e placas utilizadas na fabricação de tubos, na construção civil, em pontes e latas de folhas-de-flandres.

Para melhorar mais ainda a maquinabilidade destes aços costuma-se adicionar chumbo e bismuto.

Os aços de construção subdividem-se ainda noutros grupos de entre os quais está o grupo dos aços de corte fácil ao qual o aço Super C1 pertence.

Resumo da informação do aço Super C1

O aço Super C1 trata-se portanto de um aço não ligado [2], hipoeutectóide, extra-macio, com adição de uma pequena quantidade de manganês, possivelmente para melhorar a penetração de têmpera e aumentar ainda mais a maquinabilidade. Inclui-se, então, perfeitamente na categoria de aço de construção de corte fácil.

[2] de acordo com a Euronorma EN 10020 de 1989.

ESTUDO DO MATERIAL FORNECIDO

Determinação teórica de AC3

Usando a fórmula empírica desenvolvida por Andrews (1965) que relaciona os efeitos dos elementos de liga na temperatura crítica de transformação do aço durante o aquecimento,

$$910 - 203\sqrt{\%C} - 30(\%Mn) \quad (1)$$

Sendo a composição química dada em % de peso, e substituindo os valores presentes no aço Super C1,

$$910 - 203\sqrt{0.15} - 30 \cdot 1.2 = 795\ [ºC] \quad (2)$$

Portanto, para se obter uma austenitização completa do aço será necessário que este esteja a pelo menos $(795 + \Delta t)\ ºC$, $\Delta t \in [30{,}50]ºC$, portanto no mínimo de 845ºC se considerarmos $\Delta t = 50ºC$.

Os valores escolhidos de temperatura de cementação, 930ºC e 870ºC, e uma hora de temperatura de estágio asseguram uma austenitização completa. É de notar que como o aço tem C ≤ 15%, estes valores são os mínimos de AC3 visto que para valores mais baixos de C, as temperaturas de AC3 são mais altas.

Este valor podia ser confirmado experimentalmente fazendo o ensaio dilatométrico ao aço.

Nota: Calcula-se AC3 e não AC1 ou ACM por se tratar de um aço hipoeutético, pelo que AC3 é a linha que nos interessa para garantir total austenitização do aço.

Microestrutura do aço Super C1

Para observarmos a microestrutura do aço utilizámos o provete de controlo, o qual, para poder ser observado no microscópio óptica teve a face a ser observada, polida e atacada. (Anexo 1)

Determinação teórica do ponto eutectóide

Tendo em conta que %Mn≤1.2% , e que este desloca o ponto eutectóide na horizontal segundo o seu coeficiente de -0.09 [3], pode-se calcular a posição deslocada do ponto eutectóide fazendo

$$0.86 - 0.09 \cdot 1.2 = 0.752 \quad (3)$$

Há que notar que este é o valor mais baixo possível do ponto eutectóide para este aço visto que na fórmula foi usado o valor máximo de Mn presente no aço.

Cálculo das percentagens de constituintes

Usando o ponto eutectóide mínimo e a quantidade máxima de carbono, pode-se calcular, pela regra dos segmentos invertidos, as percentagens de constituintes do aço, que neste caso são apenas ferrite e perlite. O valor da ferrite será o minimo e o da perlite o máximo, portanto é provável que o aço se encontre fora destes extremos.

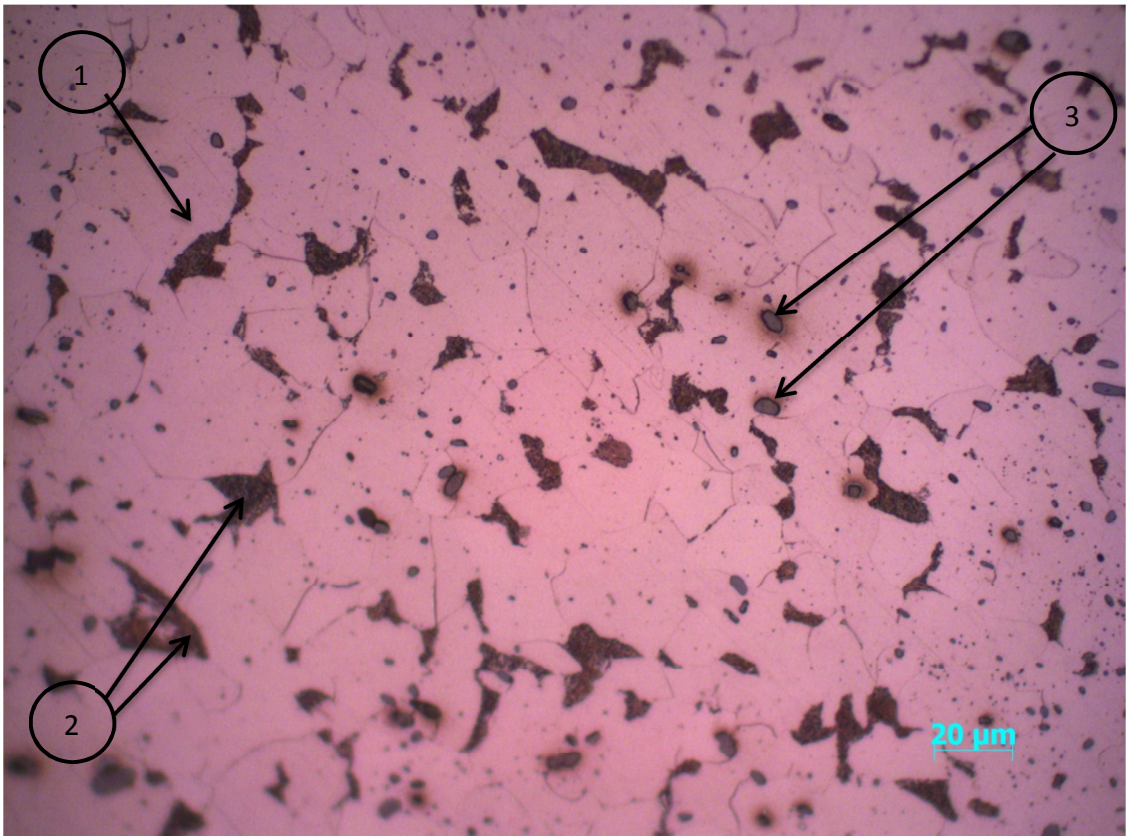
$$\%Ferrite = \frac{0.752 - 0.15}{0.752 - 0.006} \cdot 100 = 80.6$$

$$\%Perlite = \frac{0.15 - 0.006}{0.752 - 0.006} \cdot 100 = 20.1$$

Portanto, $\%Ferrite \in]\,100\,, 80.6\,]$ *e* $\%\,Perlite \in]\,0\,, 20.1\,]$

De seguida, pela análise da uma fotografia de uma parte do provete de controlo poderemos ter uma ideia melhor quais os valores mais prováveis.

Imagem 1 - Estrutura micrográfica aço Super C1

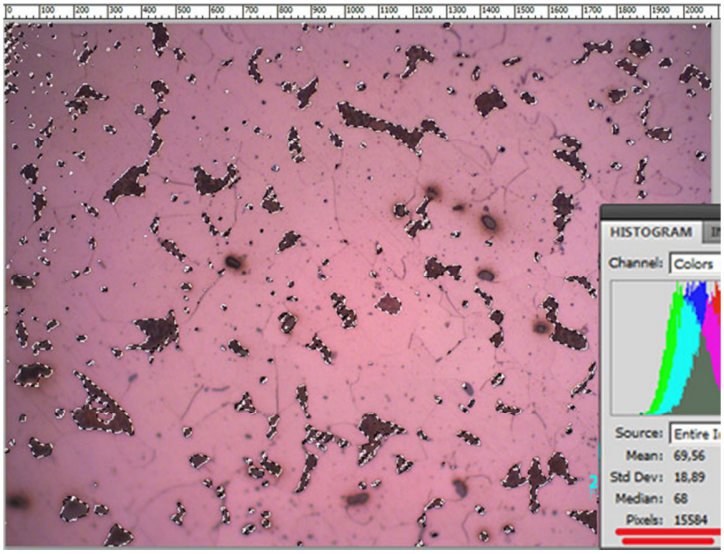


1 – Ferrite (a branco)
2 – Perlite (a negro com textura rugosa)
3 – Aglomerados de sulfuretos de manganes (a escura, com mancha acastanhada à volta e indentação)

Usando esta fotografia que representa uma pequena parte do provete de controlo, e usando o software Photoshop, temos 15600 pixeis com perlite para 200200 de total, o que dá, para esta amostra, 7.5% de perlite e 92.5% de ferrite, dentro dos valores esperados. Poder-se-ia calcular fazendo recurso outra vez à regra dos segmentos inversos a quantidade de carbono, mas temos que ter em conta que se trata apenas de uma fotografia, representando uma amostra que não é estatisticamente significativa para se extrapolar para toda a peça. No entanto, fica o exercício feito, pois com mais amostras

(fotografias) seria possível predizer com maior certeza a percentagem de carbono e de constituintes.

Imagem 2 - Análise das percentagens de constituintes



Dureza do aço Super C1

Tabela 5 - Medições de dureza no provete de controlo

Ensaio	Dureza obtida (HB)
1	222
2	217
3	227

Valor médio: 222 HB ≈ 235 HV

Imagem 3 - Medições de dureza no provete de controlo



TRATAMENTOS TÉRMICOS REALIZADOS

Imagem 4 - Tratamento térmico do provete 1

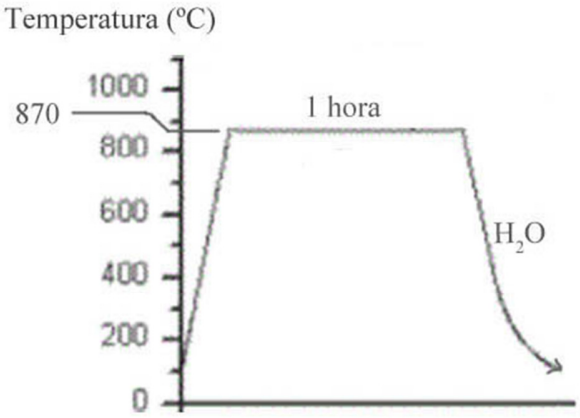
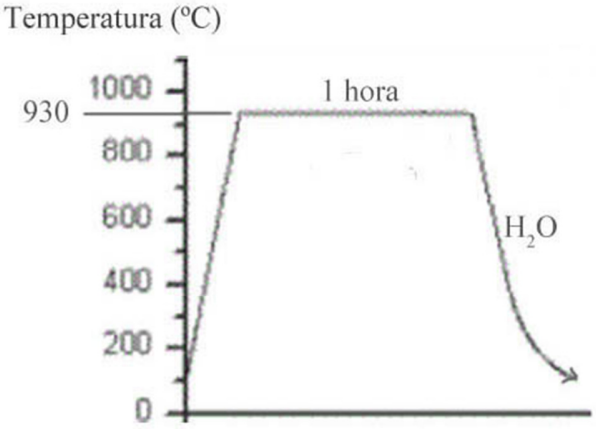


Imagem 5 - Tratamento térmico do provete 2



Cemento

O cemento a usar foi o "Granulado Durferrit 6", pois é destinado a um aço sem liga. Este tratamento de cementação será portanto sólida ou em caixa.

Velocidade de aquecimento

É de notar que como se trata de um aço ao carbono e de pequenas dimensões, não é necessário especificar uma velocidade de aquecimento visto que tem uma boa condutibilidade térmica e, portanto, a velocidade de aquecimento do forno é suficientemente lenta para que neste aço não se formem tensões internas devido a diferenças de temperatura entre partes da peça.

Tempo de estágio

O tempo de estágio de 1 hora foi escolhido com o pensamento de que nos daria (veremos mais à frente que foi uma suposição errada) uma camada cementada profunda o suficiente para que poder medir a dureza, observar a microestrutura, e diminuir a margem de erro e de acordo com o cemento usado.

Arrefecimento

Decidimos fazer a têmpera direta a partir da temperatura de cementação porque só apenas acima de 800ºC é que há uma geração apreciável de CO, enquanto que abaixo dessa temperatura aumenta o CO_2 o que causa, se o arrefecimento for lento, a produção de uma casca mole no aço. [1]

Aproveitando este facto, fazemos então todo o arrefecimento rápido, em têmpera. Sendo que se trata de um aço não-ligado, é pouco temperável, pelo que usaremos água.

Para sabermos se a velocidade de arrefecimento a água é superior à velocidade crítica superior de têmpera (VCST), e caso contrário quais os constituintes que se formam, bastará sobrepor o diagrama de arrefecimento em água sobre o diagrama de TTT do aço Super C1.

Tratamentos subsequentes

Não se faz geralmente o revenido nos aços cementados. De qualquer modo, se fosse necessário para aliviar as tensões devidas à têmpera poder-se-ia fazer um revenido a temperaturas entre 160ºC e 200ºC. [1]

PREVISÃO DOS RESULTADOS

Considerações gerais sobre o processo de cementação

Em temperaturas elevadas o C presente no cemento combina-se com o oxigênio presente na caixa formando CO2:

$C + O2 \rightarrow CO2$

O CO2 reage o carbono conforme a reação de Bourdoard:

$CO2 + C \rightarrow 2\ CO$

O CO gerado decompõe-se em carbono atómico que se difunde no metal:

$2\ CO \rightarrow 2\ C + O2$

Essa difusão, denominada velocidade de enriquecimento de carbono (V_{ec}), que ocorre na superfície dos aços, depende de certos fatores relevantes para este trabalho prático:

1) Teor em carbono inicial – quanto menor, mair a V_{ec}.
2) Coeficiente de difusão do carbono no aço – visto a cementação tratar-se de um processo de difusão, em que os átomos de carbono se movimentam do exterior, onde há maior concentração, para o interior da peça, este fator é de grande importância na previsão da camada cementada.
3) Temperatura – influencia não só a difusão mas também a reação química que ocorre na superfície do aço.

Há que dizer também que devido ao facto de ser cementação sólida, existe pouco controle dimensional pelo que não é aconselhado para cementações pouco profundas correndo-se o risco de incorrer em grandes incertezas e variações dimensionais da camada cementada.

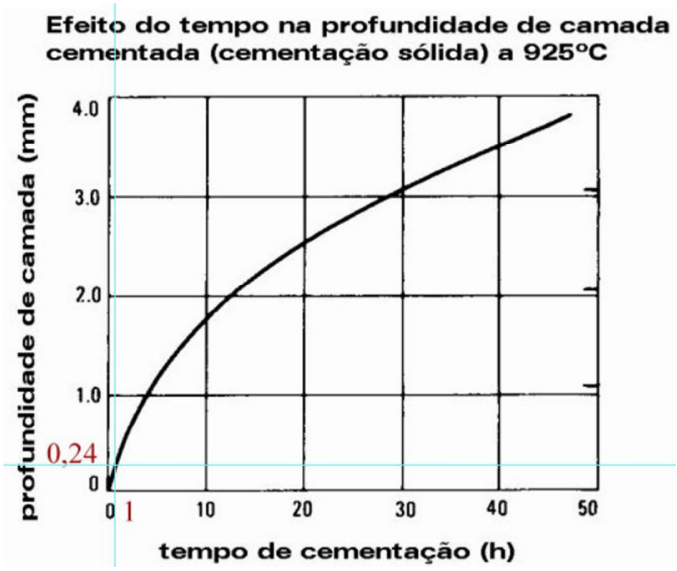
Previsão da profundidade de cementação

De acordo com a definição é a distância da superfície até ao ponto em que %C da camada cementada desce até ao mínimo de 0.40%C (55-60 HRC ou 598-699 HV).

Para uma hora na temperatura pretendida, e para um aço normal a 870ºC e 930ºC obtém-se 0.10mm e 0.16mm de profundidade respetivamente *("Granulado Durferrit" Para Cementação em Caixa*). Tendo em conta que o aço em estudo tem uma percentagem de carbono muito baixa, maior vai ser a velocidade de carbonetação, e assim podemos esperar valores superiores a 0.10mm e 0.16mm para os provetes a 870ºC e 930ºC respectivamente.

Na tentativa de restringir mais os valores previstos foi encontrado e analizado o diagrama seguinte, que infelizmente só se aplica aproximadamente ao aço a 930ºC.

Imagem 6 - Tempo vs profundidade cementação



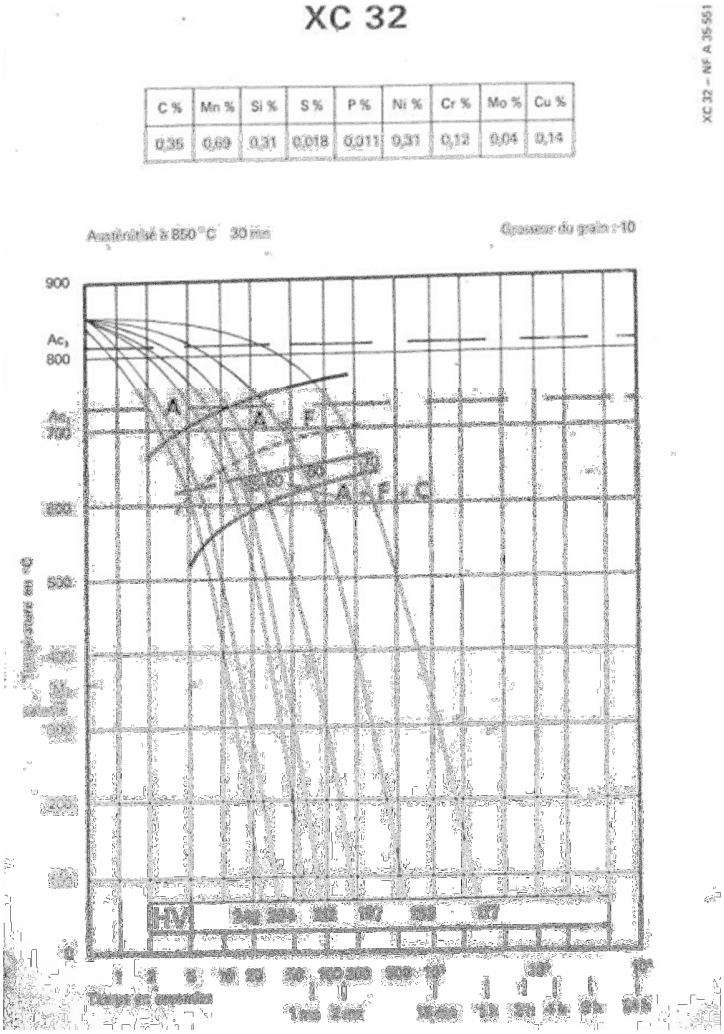
Portanto, para o aço a 930ºC deveremos esperar uma profundidade de cementação superior a 0,24mm.

Previsão da microestrutura

Tendo o diagrama de TC do Super C1 seria possível prever até que ponto a velocidade de arrefecimento a água se aproxima da VCST e, caso contrário quais os constituintes que se

irão formar. Como não foi encontrado o diagrama do aço em estudo, usámos o do aço seguinte, que mesmo apesar de ter 0.35% C, as curvas já se encontram muito encostadas à esquerda, pelo que sobrepondo o diagrama da curva de arrefecimento da água sobre este, nota-se que não teremos 100% martensite após têmpera, o que é desejável, pois com a cementação queremos que o núcleo continue dúctil e tenaz.

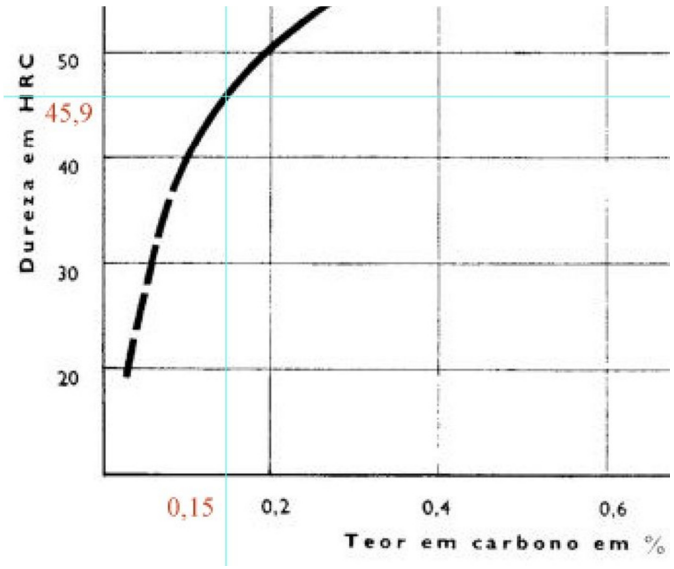
Imagem 7 - Diagrama TC, aço X32



Previsão da dureza da camada cementada e da dureza após têmpera (camada não cementada)

Dureza após têmpera (sem cementação) – tendo a curva em U do aço Super C1 seria possível prever a penetração da têmpera e a variação da dureza, sem ter em conta com a camada cementada, com a profundidade. Depois comparar-se-ia curva em U da têmpera com e sem cementação. À falta da mesma, sempre é possível predizer a dureza da parte com 100% de martensite, tendo em conta a % inicial do aço em carbono.

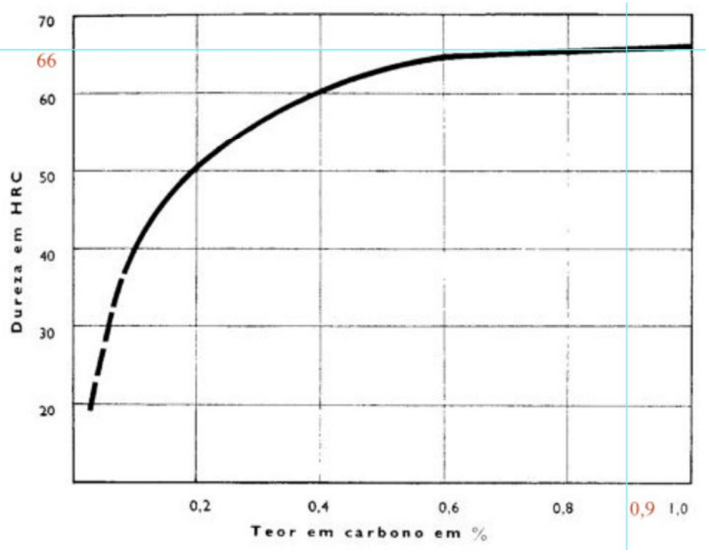
Imagem 8 - Dureza após têmpera sem cementação



Dureza após cementação, %C > 0.8 (superfície)

Seguidamente tentamos prever a dureza máxima da camada cementada, para uma %C nessa camada superior a 0.8%.

Imagem 9 - Dureza após cementação, %C>0.8 (superfície)



Quer isto dizer, que na periferia, se tivermos aproximadamente 0.9%C, e 100% martensite, deveremos ter aproximadamente 66HRC de dureza.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

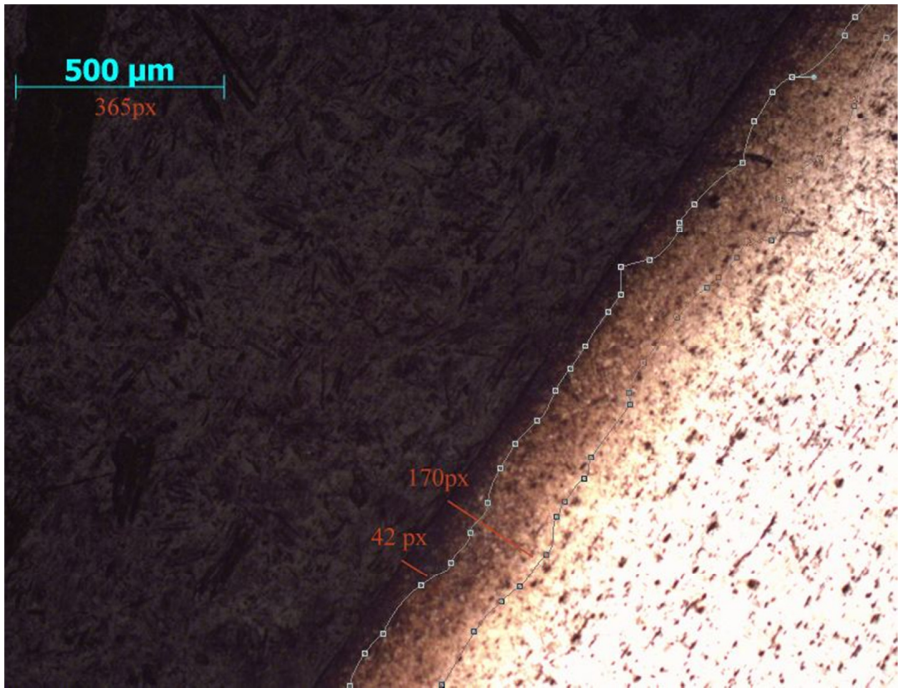
Provete 1 (1 hora, 870ºC)

Dureza (procedimento de medição da dureza – Anexo 6) *e profundidade de cementação*

Tabela 6 - Dureza do provete 1

Ensaio	Distância [mm]	Dureza (HV)	Dureza (HRC)
1	0.05	882	66.6
2	+0.15	681	59.2
3	+0.10	483	47.9
4	+0.10	383	39
5 (Núcleo)	+5	228	———

Imagem 10 - Profundidade de cementação



Pela regra de três simples, primeiro para toda a camada e depois apenas para a parte mais escura, temos

$$\frac{170 \times 0.5}{365} = 0.23\ [mm]$$

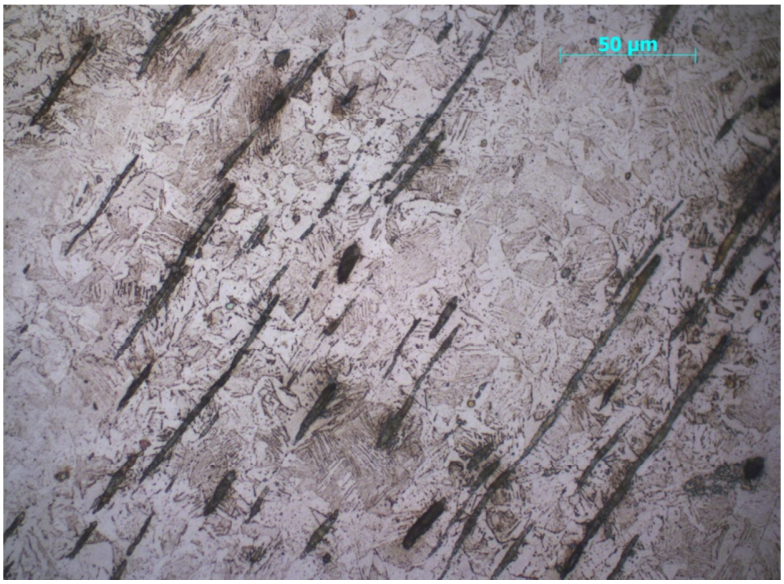
$$\frac{42 \times 0.5}{365} = 0.057\ [mm]$$

Nota: foram calculados estes dois valores pois, apesar de à primeira vista assim parecer, não há certezas de alguma delas se tratar de camada cementada até serem estudados os valores de dureza obtidos.

Microestrutura:

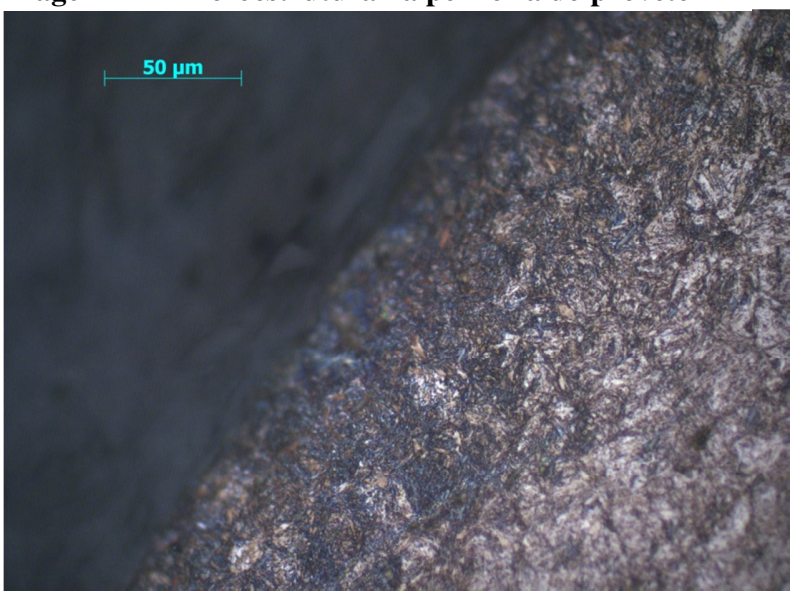
No núcleo – estrutura ferritico-perlítica, com aglomerados de sulfuretos de manganês.

Imagem 11 - Microestrutura no núcleo do provete 1



Na periferia – podem-se ver várias agulhas de constituição martensítica.

Imagem 12 - Microestrutura na periferia do provete 1



Provete 2 (1 hora, 930ºC)

Dureza e profundidade de cementação:

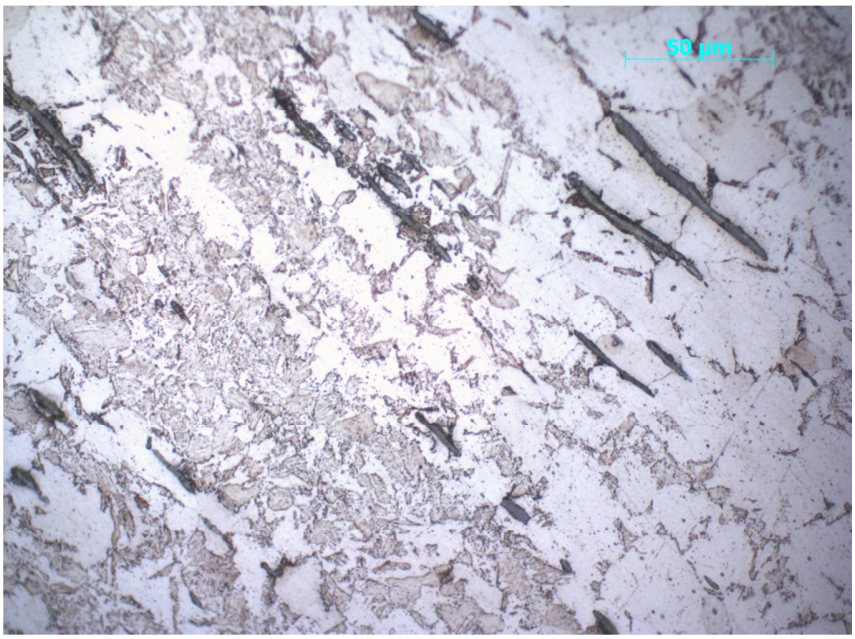
Tabela 7 - Dureza do provete 2

	Distância [mm]	Dureza (HV)
1	0.10	206
2	+0.20	206
Núcleo	+5	199

Microestrutura:

Toda a amostra se encontra ferritico-perlítica, tal como o mostra a seguinte figura.

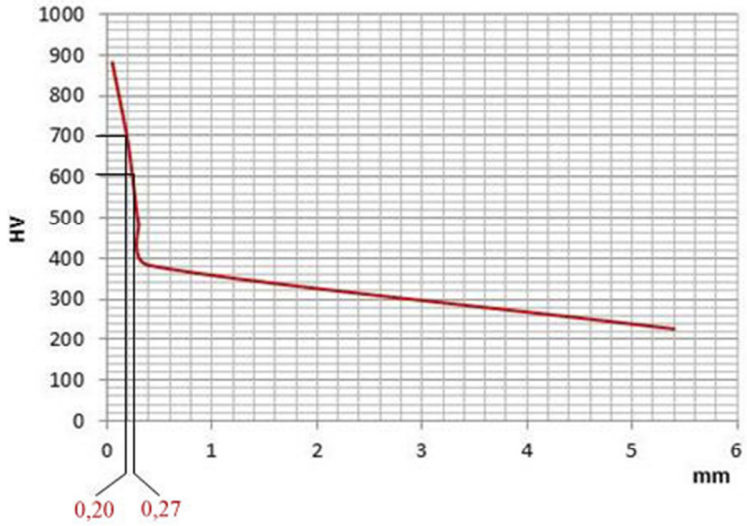
Imagem 13 - Microestrutura no provete 2



ESTUDO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para o provete 1, (1 hora 870ºC), temos uma dureza à superfície (66.6 HRC) que indica uma percentagem de carbono superior a 0.9% (esperado ≈ 1%). Depois podemos observar (imagem 14) uma diminuição da dureza, típica de um não ligado e de baixa quantidade de carbono, cementado. Quer isto dizer, temos no início uma acentuada queda de dureza à medida que a penetração da cementação se vai reduzindo (e por conseguinte o carbono do aço antes de têmpera, o qual é o único factor a influenciar a dureza da têmpera martensítica) e à medida que a penetração de têmpera também decresce abruptamente devido ao aço ser pouco temperável (não ligado).

Imagem 14 - Diagrama da dureza do provete 1 em função da proximidade ao núcleo



Para o provete 2, temos uma situação um pouco estranha, pois o aço não aparenta nem ter sido cementado, nem temperado, apesar de ter estado a uma temperatura ainda mais confortável de cementação, ou seja, deveria ter uma camada cementada ainda maior que a do provete 1. Esta situação pode-se ter devido a algum dos processos operatórios não ter sido realizado de acordo com o pedido, ou algum erro de comunicação entre a nossa parte e a parte dos operadores.

Não sabemos em que medida terá afetado os resultados, mas o granulado DURFERRIT 6 é aconselhado para profundidade de cementação acima de 0.6 mm. Foi um erro da nossa parte, portanto, termos apenas 1 hora de cementação, visto que o uso deste granulado era mandatório para o trabalho prático. (*"Granulado Durferrit" Para Cementação em Caixa*)

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados relativos ao provete 1 coincidiram com o previsto, apesar de a margem de erro ser grande devido ao facto de a camada cementada ser tão reduzida. Foi possível atingir, até certo ponto, o objetivo da cementação, pois obtivemos um endurecimento superficial do aço mantendo o interior dúctil, apesar da camada ser muito fina para os valores normais de camadas cementadas.

Em trabalhos futuros dever-se-á: aumentar consideravelmente o tempo de estágio para permitir uma camada cementada mais profunda e reduzir a margem de erro associada ao cálculo do mesmo; utilizar um cemento apropriado ao tempo de cementação; caso seja possível, escolher um aço conhecido, cujos diversos diagramas estejam facilmente disponíveis.

BIBLIOGRAFIA

[1] Chiavenini, Vicente, "*Aços e Ferros Fundidos*", 7ª ed., 2005.

[2] Smith, William F., *"Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais"*, 3ª ed., Mc Graw Hill.

[3] Soares, Pinto, *"Aços – Características, Tratamentos"*, 5ª ed, 2006.

[4] Comitre, Tulio Braz, et al., *"Equacionamente e quantificação das propriedades mecânicas de barras de aço em conformidade com normas sae"*

WEBGRAFIA

[1w] http://www.ramada.pt/

[2w] http://www.dalmolim.com.br/EDUCACAO/MATERIAIS/Biblimat/endursup.pdf

ANEXOS

1 – Polimento e ataque dos provetes

Material e equipamento

- 4 lixas de carboneto de silício de grão 80, 180, 320, 500, 800 e 1200
- Álcool etílico 96% (V/V)
- Algodão hidrófilo
- Feltro com pasta de alumina tipo N
- Lubrificante azul
- Nital 2% (V/V)
- Vidro de Relógio
- 3 máquinas lixadoras "Struers Rotopol 21"
- Máquina polidora "Struers DP-U4"

Procedimento:

0. Caso a amostra seja de tamanho pequeno, no qual se torne difícil manusear é necessário o passo extra de a colocar envolvida em resina fenólica para eliminar tal inconveniente.
1. Adaptar a lixa de grão 80 à "Struers Rotopol 21" e iniciar o seu funcionamento, abrindo a torneira de água da máquina.
2. Encostar o provete levemente contra a lixa, e só parar quando a superfície a polir estiver o mais homogénea possível.
3. Substituir a lixa usada pela de tamanho de grão inferior (180) ou no caso de já estar montada iniciar o polimento, rodando a amostra 90º relativamente à posição em que foi polida anteriormente.
4. Repetir o passo anteriormente sucessivamente para as lixas de grão 320 e 500.
5. Passar por água e secar a peça.

6. Passar para a máquina polidora Struers DP-U4 com lixa com pasta de alumina. Neste passo o objetivo já será que a peça apresente o menor número de riscos possíveis.
7. Utilizar a lixa de grão 800, na máquina Struers Rotopol 21 com o caudal de água desligado, e utilizando lubrificante azul, a ser borrifado sobre o tambor da máquina.
8. Lavar o provete com álcool e secar com algodão.
9. [A partir deste passo descreve-se o procedimento do ataque] Colocar Nital (2%) - HNO3 (Ácido Nitrico), num vidro de relógio.
10. Com algodão, molhar a peça com o reagente, o tempo depende do tipo de material a ser atacado, mas regra geral, até estar com um aspecto baço.
11. Lavar a amostra com água, para retirar o nital ainda presente, e secar.

2 – Visualização da microestrutura

Material e equipamento

- Microscópio óptico de resolução até 100x
- Hardware (computador e elementos de ligação computador – microscópio)
- Software próprio para trabalhar com o referido hardware

Procedimento

1. Colocar a superfície do provete a ser observada com a face voltada para cima, colocar o provete na mesa do microscópio, e aproximá-la às lentes ampliadoras.
2. Escolher a ampliação e os locais a serem observados utilizando as manivelas do microscópio.
3. Com o sofware tirar fotografia da imagem vista nas objetivas do microscópio e colocar a escala apropriada.

3 – Cementação

Material e equipamento

- Granulado Duferrit 6
- Forno adequado
- Arame
- Caixa de cementação
- Pinça para manusear peças no forno

Procedimento

1. Conformar o arame ao provete de modo a que seja fácil manuseá-lo com a pinça
2. Colocar o provete na caixa com o granulado coberto com uma camada de no mínimo 10mm de espessura.
3. Colocar a caixa no forno e ligá-lo, programando-o para a temperatura final pretendida e tempo de estágio.

4– Têmpera

Material e equipamento

- Água entre 20 – 30 ºC
- Caixa própria onde efetuar a têmpera
- Pinça para manusear peças no forno
- Algodão

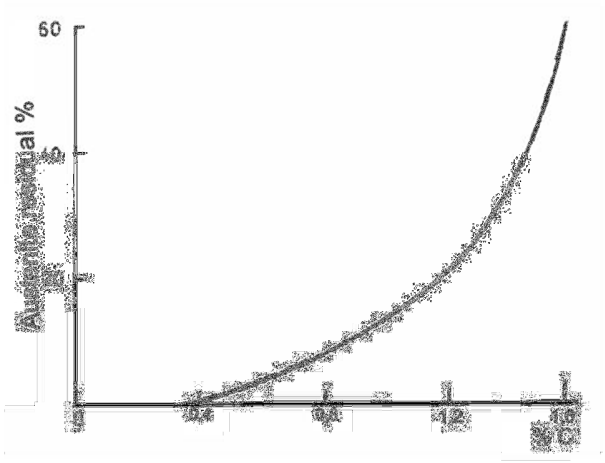
Procedimento

1. Retirar com a pinça, o provete de dentro do forno, passado o tempo de estágio para a realização do tratamento pretendido, e mergulhá-lo na caixa com água.
2. Remover o provete de dentro de água quando esta deixar de borbulhar e deixar arrefecer ao ar.
3. Secar o provete e envolver em algodão.

5 – A austenite residual na têmpera

Depende de dois fatores:

1. Percentagem de carbono no aço. Quanto maior este valor, e tendo em conta o ponto seguinte, maior a sua quantidade no aço;
2. Temperatura final da têmpera, isto é, se a temperatura mínima atingida no arrefecimento da têmpera for superior a Mf.



6 – Medições das durezas após tratamento térmico

Procedimento

1 – Cortar ¼ do provete e colocar esse corte em resina fenólica, como se mostra nas figuras, com a face onde serão medidas as durezas ficando de fora, tendo em atenção a qual lado corresponde a perfiferia e a qual o núcleo.





2 – Polir e atacar a face a analizar

3 – Num durómetro próprio para o efeito, medir as durezas começando pela periferia até ao núcleo.

