

# **AÇOS PARA CUTELARIA**

**Antenor Ferreira Filho\***

## **1. INTRODUÇÃO:**

A profissão de cuteleiro é uma das mais antigas. A arte de fazer faca, mesmo que primitivamente, data à pré-história, quando os objetos eram feitos de lascas de pedras e auxiliavam a construir lanças e a cortar o couro.

O início da cutelaria se deu no ano de 1785 quando o mestre cuteleiro John Frederick Peter instalou uma cutelaria ao leste da França. O neto de John, já na terceira geração de mestres cuteleiros, Gustave Emile Peter, abriu uma cutelaria em Paris no ano de 1887. A cutelaria ficava na rua 4 em Paris e vendia finos artigos de cutelaria como facas, navalhas de barbear, facas de mesa e canivetes. As peças de Emile Peter vinha marcadas com marca de E.PETER, enquanto que as de Albert Peter eram marcadas como A.PETER.



A peça E.PETER da matéria pertenceu a um abastado estancieiro de São Gabriel que viveu por volta dos anos 1900

Atualmente, a profissão ainda é exercida, mas por poucos artesões, que trabalham com materiais mais sofisticados e com ajuda de máquinas, apesar de 90% do material ainda ser elaborado a mão. Assim como em outras artes, a produção artesanal tem status de artigo de luxo e único. Sendo assim, normalmente os cuteleiros são avessos ao uso de máquinas.

A definição do termo Cutelaria se relaciona com o esforço e a habilidade artística manual, sem a produção em larga escala ou repetida.

Ao escolher a melhor faca, canivete, tesoura ou utensílio cortante deve-se prestar atenção especial ao tipo de aço usado na lâmina. O aço é, na verdade, a essência da lâmina e o principal responsável pelo desempenho da faca.

O aço é basicamente uma liga ferro e carbono frequentemente enriquecida com outros elementos químicos adicionados na composição química visando otimizar certas características dependendo da aplicação desejada.

Na indústria de facas, por exemplo, diferentes tipos de aço são criados variando-se os tipos de elementos de liga adicionados, bem como a forma como a lâmina é tratada termicamente (endurecida).

---

**Antenor Ferreira Filho\*** Engenheiro Metalurgista e PhD em Materiais, sócio proprietário da MF, consultor técnico em materiais e professor universitário. Vasta experiência na área de laminação, trabalhou por mais de 30 anos nas principais empresas de relaminação nacional (Waelzholz e Armco).

Facas de alto desempenho têm como característica serem feitas de aços que reúnem uma série de propriedades indispensáveis ao bom desempenho do produto. Esses materiais devem garantir após o tratamento térmico de têmpera uma dureza alta e uniforme ao longo de todo o fio, retenção de fio para garantir o desempenho sem reafiações frequentes e uma tenacidade elevada para permitir a resistência a golpes e impactos durante o uso.

Devem, porém não ter somente elementos de liga e sim um correto balanceamento de composição química para obtenção de características que os tornem diferenciados, pois para sua seleção e oferta ao mercado são levados em consideração fatores que garantam:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA ADEQUADA: a presença de elementos de liga em proporções balanceadas é fator determinante para obtenção de bom desempenho, pois serão eles que garantem no tratamento térmico a ocorrência das transformações de fases, que darão as características necessárias para o bom desempenho do produto.

PUREZA: os aços para alto desempenho têm que ser obtidos por processos metalúrgicos de fusão, refino e conformação que garantam uma estrutura livre de impurezas e inclusões, que podem afetar a resistência e tenacidade do material por gerarem descontinuidades e conseqüentemente “pontos frágeis” e imperfeições. Elementos residuais como Pb, S e P prejudiciais devem ser mantidos a níveis baixíssimos.

MICROESTRUTURA: grãos refinados e uniformes, com presença de finos carbonetos secundários garantem ao aço alta resistência à abrasão mantendo o fio uniforme para o desempenho de corte ideal.

TRATAMENTO TÉRMICO: deve seguir rigorosamente as recomendações do fabricante do aço com adequados controles de temperatura e resfriamentos. O correto tratamento é fator determinante para obtenção da microestrutura ideal para garantir propriedades mecânicas e desempenho.

Em última análise, os diferentes tipos de aço usados nas lâminas exibem cada um deles, graus variáveis de cinco propriedades principais, a saber:

DUREZA: é a capacidade de resistir à deformação quando sujeita a forças de tensão aplicadas. A dureza nos aços para facas é geralmente referida como sendo a resistência da lamina. Esta dureza é medida usando a escala Rockwell C (também conhecida como “HRC”).

TENACIDADE: é a capacidade da lamina de resistir a danos como trincas formação de “dentes” ou “lascas” quando usada em aplicações pesadas. Isso também define a capacidade do aço flexionar sem quebrar. A formação de “lascas” é o pior inimigo de uma faca e nunca é fácil de consertar. Deve-se considerar que quanto mais duro o aço, maior a tendência a formação destes defeitos. Além disso, a medição da tenacidade é menos padronizada como dureza.

RESISTÊNCIA AO DESGASTE: é a capacidade do aço de resistir a danos causados pelo desgaste abrasivo e adesivo. O desgaste abrasivo ocorre do contato entre superfícies mais bem acabadas (polidas) que entram em contato com superfícies mais ásperas.

Já o desgaste adesivo ocorre quando pequenas partículas de metal ou outra origem são retiradas de uma superfície e conectadas a outra. A resistência ao desgaste geralmente se correlaciona com a dureza do aço, e é fortemente influenciada pela composição química específica do aço. Em aços de igual dureza, o aço com carbonetos maiores (pense em partículas microscópicas, duras e resistentes ao desgaste) normalmente resistirá melhor ao desgaste se comparado a aços com carbonetos finos e homoganeamente distribuídos na matrix do aço.

**RESISTÊNCIA A CORROSAO:** é a capacidade de resistir à corrosão, como a oxidação/ferrugem causada por elementos externos, como umidade, umidade e sal. Observe que uma alta resistência à corrosão envolve um sacrifício no desempenho geral da aresta.

**RETENÇÃO DE FIO:** representa quanto tempo a lâmina reterá sua capacidade de corte quando sujeita a períodos de uso. Infelizmente a medição da retenção de borda não tem nenhum conjunto definido de padrões e muitos dos dados são subjetivos. A retenção de “fio” pode ser considerada como uma combinação de resistência ao desgaste e à deformação de uma borda.

Infelizmente, o "melhor aço faca" não é simplesmente um caso de maximizar cada uma das propriedades acima, é uma combinação entre elas.

O maior compromisso é de se equilibrar dureza com tenacidade. Algumas lâminas podem ser feitas para serem excepcionalmente duras, mas podem lascas ou trincar se simplesmente caírem em uma superfície dura. Por outro lado, uma lâmina pode ser extremamente resistente e capaz de dobrar/flexionar, mas terá dificuldade em manter o “fio”.

Deve-se observar também que o termo "aço inoxidável" é geralmente equivocado, pois todos os tipos de aço apresentarão algum tipo de oxidação se ficar expostos a determinados meios por tempo suficiente.

## **2. CLASSIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS AÇOS UTILIZADOS EM LAMINAS/FACAS:**

Os tipos de aço laminado mais comuns utilizados na confecção de facas e laminas em geral geralmente se enquadram nas seguintes categorias:

- **Aço Carbono** - Os aços mais usados e comuns para estas aplicações são os denominados de aços de alto teor de carbono, onde o teor de carbono do aço em média é superior a 0,70%. Geralmente são produzidos para uso bruto, onde tenacidade e durabilidade são importantes. É muito comum encontra-los em facas de sobrevivência e facões. São aços que tomam uma borda afiada e são relativamente fáceis de serem reafiados. O aço ao carbono, usado em faca em geral, mais popular é o aço SAE1095.

- **Aço Carbono baixa liga** - aços carbono de baixa liga apresentam resultados um pouco superior ao aço carbono tradicional dada a introdução de elementos de liga formadores de carbonetos e refinadores de grão como Cr e V. Os aços mais populares desta lista são os aços da família CrV, como DIN 58CrV4.

- **Aço Ferramenta** - são aços principalmente ligados de elevada dureza usados em ferramentas de corte. Alguns aços populares deste grupo incluem as séries D2, O1, além dos aços rápidos mais avançados, como o M4.

- **Aço Inoxidável** - é basicamente o aço carbono com adição de cromo para resistir à corrosão e outros elementos que aumentam os níveis de desempenho, mas geralmente apresentam uma tenacidade inferior. A categoria mais popular hoje inclui as séries AISI400 - Inox martensítico, e os aços de propriedade de marca Sandvik, Böhler e Crucible. Note que, para se qualificar como um verdadeiro aço inoxidável deve-se ter na composição química um teor de pelo menos 13% de cromo.

Ainda dentro desta classificação podemos destacar:

- **Aços denominados de “DAMASCO” e;**
- **Aços produzidos via metalurgia do pó:** como os aços CPM - Crucible (Ex:CPM 3V).

### **3.PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PRINCIPAIS AÇOS UTILIZADOS EM LAMINAS/FACAS:**

#### **3.1 - Aço ao carbono - Siderúrgico convencional:**

Os aços ao carbono mais tradicionais seguem o processo siderúrgico de fabricação a seguir, considerando para cada um deles suas particularidades.

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com sílica.

O processo de produção do aço se inicia com a preparação das matérias primas onde o carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. Antes de serem levados ao alto forno (processo redução), o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo.

O minério é transformado em pelotas e o carvão é destilado, para obtenção do coque, dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos. Junto a eles é adicionado ainda o fundente.

De forma resumida a produção do aço pode ser dividida em basicamente 03 etapas:

#### **Etapa 1 - Redução do minério de Ferro - Alto Forno:**

O processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro de um equipamento chamado alto forno. No processo de redução, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário, sílica etc. formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento. Esta primeira etapa do processo é ilustrada a seguir conforme fluxo da figura abaixo:

## Processo de Redução – Alto Forno

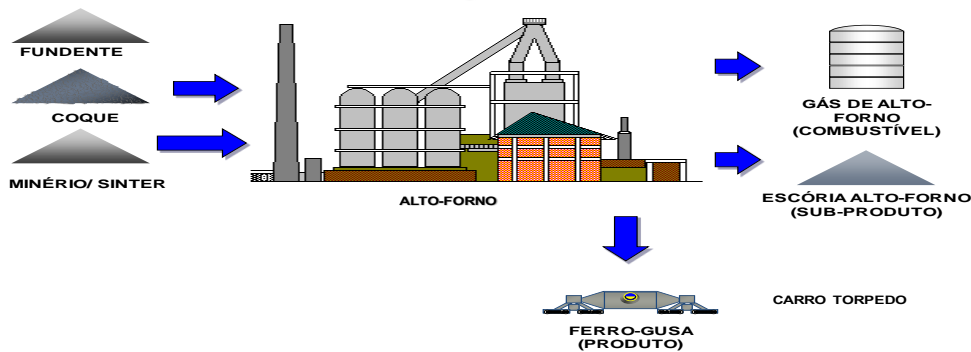


Figura 1 - Processo de redução do aço em AF

### Etapa 2 - Refino do aço:

Aciaria + Lingotamento: A etapa seguinte do processo é o refino. Onde o ferro gusa é então levado para a área de aciaria, ainda em estado líquido (carro torpeda), para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos. Uma vez que o aço é produzido passa por etapas posteriores de refino secundário até que se atinja a composição química e temperatura desejável de vazamento. Posteriormente o aço é vazado através de panelas em distribuidores de forma a transformar o aço líquido em placas através do processo de lingotamento contínuo. Estas etapas do processo podem ser ilustradas esquematicamente através da figura abaixo:

### Aciaria

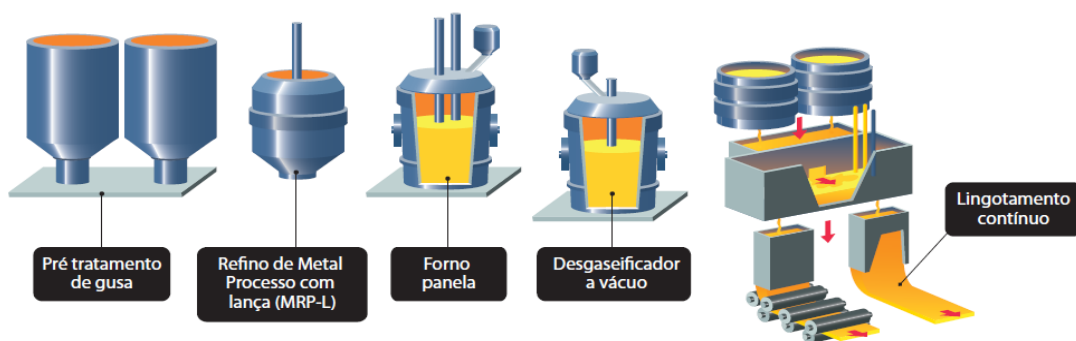


Figura 2 - Processo de refino - Aciaria + lingotamento contínuo

### Etapa 3 - Laminação a Quente:

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação a quente. A placa é então reaquecida e deformada mecanicamente e se transforma em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas e ou bobinas (matéria prima para produção de facas), conforme mostra a fig. 3.

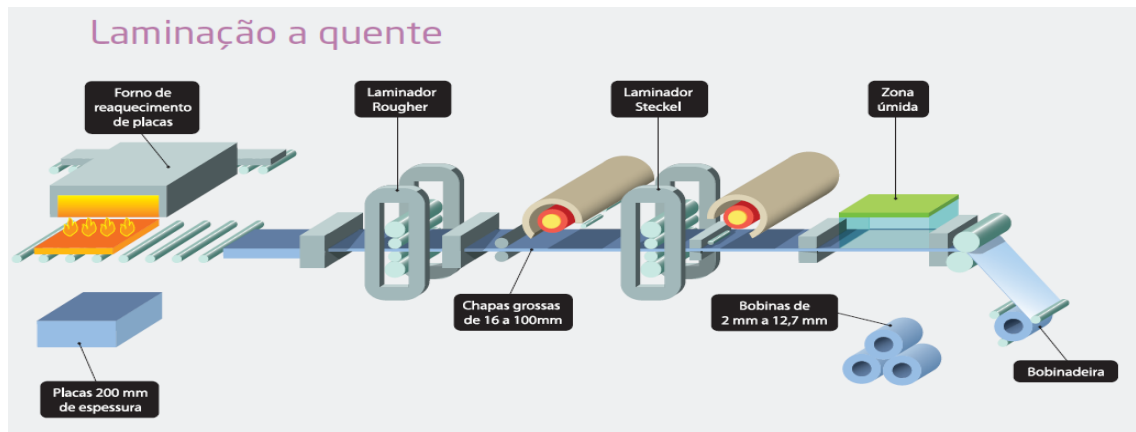


Figura 3 - Processo contínuo de laminação a quente

### 3.2 - Aços Inox e Ferramenta - Siderurgico convencional:

A produção destes aços pode ser dividida da mesma forma anterior, basicamente 03 etapas, porém normalmente a etapa de refino do aço é realizada em aciarias do tipo elétrica, onde aço líquido é vazado normalmente em lingoteiras (moldes metálicos) e posteriormente laminados em quente em produtos como barras, vergalhões, arames, perfilados, barras etc, conforme mostra a fig. 4:

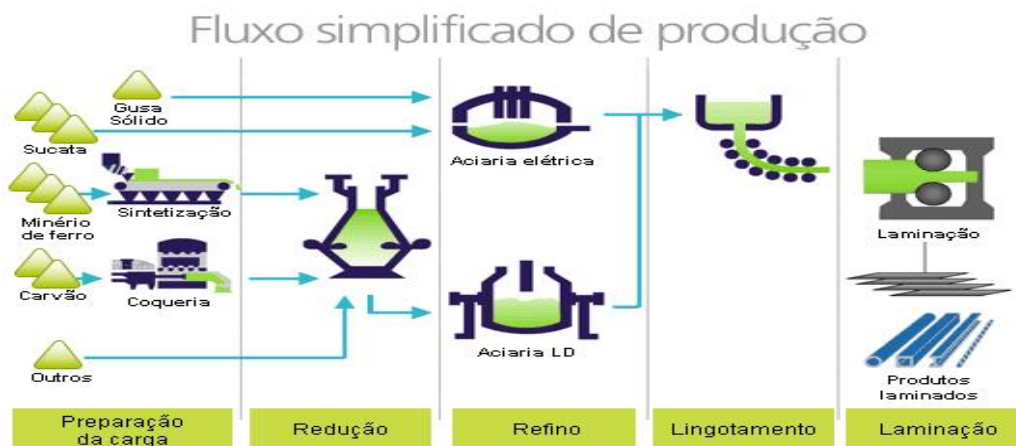


Figura 4 - Processo Siderúrgico aço inox e ferramenta

Os dois processos apresentados anteriormente cobrem a grande maioria de toda a produção de aços para uso em facas e laminas. Existem ainda processos alternativos e especiais de produção, como:

### 3.3 - Processo especial (artesanal) de produção de aço DAMASCO:

O processo de soldagem padrão ou *Damascening* foi visto pela primeira vez na Pérsia, por volta de 500 a.C, na cidade antiga de Damasco. Esse processo originou-se da diferenciação dos procedimentos convencionais utilizados pelos ferreiros da época para confecção de espadas e artigos cortantes.

O nome da cidade Damasco, uma das cidades mais antigas do mundo, esconde um mistério e várias versões sobre seu histórico. Alguns acreditam que a palavra Damasco vem de "barragem shaq", que em essência significa "Uma cidade construída

sobre a rocha onde o sangue de Mash, o filho diante de Aram Bin Bin Sam Noé, fluiu depois que ele tomou uma grave pancada na cabeça pelo próprio irmão”. Outros acreditam que a cidade foi nomeada em homenagem a Damashaq, bisneto de Sam, filho de Noé que foi o responsável por realmente construir a cidade. Ainda outros acreditam que o nome foi dado pela origem da palavra “*damashaq*”, que significa camelo veloz.

O termo em si “*Damascus steel*”, ou aço damasco, vem das cruzadas, onde os europeus entraram em contato com essas armas superiores comercializadas na cidade de Damasco. Quando essa tecnologia se espalhou por toda a Ásia e Índia foi chamada de *Wootz*.

No processo tradicional de produção de aço de Damasco, o cunheiro (artesão) deve soldar e prensar/caldear dois ou mais tipos de aço em camadas formando um tarugo inicial. Os aços normalmente utilizados para produção do aço Damasco são uma combinação do aço 15N20 (aço de marca comercial Uddeholm) com o aço SAE1095 / 1075 / O1 ou 5160. Ainda hoje, os fabricantes de aço Damasco usam esta técnica unindo normalmente duas chapas de aço em camadas alternadas através de um processo de soldagem padrão.

O processo se inicia com a criação de um tarugo/lingote (uma série de chapas de aço em camadas). O tarugo então é aquecido, forjado e dobrado repetidamente (figura 5). Os padrões distintos na lâmina são criados artisticamente por torcer, dobrar e assim desenhar o padrão desejado. Em geral, o processo cria uma lâmina muito resistente, porém a sua durabilidade está diretamente ligada aos aços (composição química) selecionados para criar a lâmina.



Fig. 5 - Tarugo de aço DAMASCO sendo forjado.

O padrão em aço Damasco só é revelado visualmente após o aço ser limpo/decapado, preparado superficialmente e devidamente atacado com reativos específicos onde os dois tipos de aço caldeados/forjados irão reagir de forma diferente no processo de oxidação, quando atacados.

No geral, o aço Damasco possui a beleza e arte que faz com que seja muito famoso, e apresente uma boa resistência e durabilidade. Exemplo de padrões tradicional de aço DAMASCO pode ser visto na figura 6, a seguir:





Fig. 6 - Exemplos de padrões tradicionais de aço DAMASCO (Damasteel).

### 3.4 - Processo produção aço especial via metalurgia do pó:

Os aços rápidos, aços ferramenta entre outros especiais obterão melhorias de propriedades com o aumento da velocidade de solidificação, que propicia uma microestrutura fina e carbonetos pequenos bem distintos na matriz. Aços produzidos por MP são largamente utilizados em aplicações muito exigentes em trabalho a frio, moldes plásticos e ferramentas de corte (incluso facas especiais).

A sequência de produção segue as seguintes etapas:

#### Processo de fabricação por Metalurgia do Pó

- Fusão em Forno Elétrico;
- Refino Secundário;
- Solidificação Rápida (Atomização Gasosa):

#### Produção de Pós Metálicos

- Separação Dimensional dos Pós;
- Encapsulação à vácuo e Compactação Isostática à Quente (HIP)

#### Etapas Subsequentes

- Forjamento/ Laminação

Durante o processo de metalurgia do pó (MP) utilizando-se uma sequência especial de refino, a pureza do aço fundido é melhorada, antes do processo de atomização, resultando na melhoria das propriedades mecânicas e um nível extremamente baixo de inclusões (SuperClean™). Uma corrente de aço fundido é atomizada com o gás Nitrogênio em pequenas partículas/pós (com dimensões em torno de 50-100  $\mu$ m). Os pós são então encapsulados diretamente para evitar contaminação. E através de um processo com pressão isostática a quente (HIP), o pó metálico é consolidado a 100% da densidade. A cápsula de MP, que passou pelo processo HIP (consolidação), é então forjada e laminada para dimensões menores, seguidas de tratamento térmico de sinterização.



#### 4. PRINCIPAIS AÇOS UTILIZADOS EM LAMINAS/FACAS E SUAS CARACTERÍSTICAS:

##### 4.1 - FAMÍLIA DE AÇOS AO CARBONO:

- AÇO CARBONO 1075 - EQUIVALÊNCIA: SAE 1075 / AISI 1075

#### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	P	S
0,70/0,80	0,40/0,70	$\leq 0,040$	$\leq 0,050$

Características gerais do aço: Aço com teor de carbono médio/elevado. Muito usado em construção mecânica em geral, sendo o aço inicial (mais básico) para uso em cutelaria. O nível do teor de carbono já é responsável por boa resposta a têmpera e revenimento, feita em óleo preferencialmente (têmpera em água já é muito severa para este material).

#### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 900/1050°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 780/850°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 760/800°C, resfriamento em óleo
- Revenimento: 100/200°C

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida

Dureza típica pós Têmpera: 54/56 HRC

Dureza típica pós revenimento: 53/55 HRC

- AÇO CARBONO 15N20 - EQUIVALÊNCIA: 15N20 é originário da marca comercial Uddeholm /aço DIN75Ni8 / WNr. 1.5634.

#### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% em peso ):**

C	Mn	Si	Ni
0,72/0,78	0,30/0,50	0,15/0,35	1,90/2,10

Características gerais do aço: Este aço é usado principalmente em combinação com os aços 1095, 1075, 01 e 5160 na fabricação de “AÇO DAMASCO”.

Suas principais características são:

- Elevada tenacidade;
- Microestrutura muito homogênea, com nível de inclusões extremamente baixo, o que proporciona grande resistência ao impacto e à fadiga;
- Acabamento de superfície de excelente qualidade quando laminado a frio (brilhante), não apresenta falhas que poderiam concentrar tensões e servir como pontos de partida para a quebra por fadiga.
- Permite ao fabricante produzir lâminas com baixo custo de produção.

### Tratamentos Térmicos:

- Recozimento: 950 °C. Para eliminar as tensões estruturais causadas por forjamento ou desbaste. Tempo ideal, 1 hora.
- Têmpera: 820 a 850 °C. Aquecimento lento e progressivo e resfriamento em óleo.
- Revenimento: ~350 °C, para espessuras de até 6,0 mm.

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida

Dureza típica pós Têmpera: 58/62 HRC

Dureza típica pós revenimento: 55/59 HRC

- **AÇO CARBONO 1095** - EQUIVALÊNCIA: SAE 1095 / AISI 1095

### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	P	S
0,90/1,03	0,60/90	<=0,040	<=0,050

Características gerais do aço: Aço de alto teor de carbono. Muito usado em cutelaria para fabricação de facas tipo damasco ou mesmo em aço único, visto a excepcional propriedade de endurecimento. O alto teor de carbono propicia boa resistência ao desgaste e retenção de fio considerada boa para um aço carbono sem elementos de liga

### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 900/1050°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 780/850°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 780/820°C, resfriamento em óleo
- Revenimento: 100/200°C

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida + traços de Austenita retida

Dureza típica pós Têmpera: 56/58 HRC

Dureza típica pós revenimento: 54/57 HRC

- **AÇO CARBONO 5160** - EQUIVALÊNCIA: SAE 5160

### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	Cr
0,56/0,64	0,75/1,00	0,70/0,90

Características gerais do aço: É um dos aços mais difundidos para uso em cutelaria devido à facilidade de ser encontrado, sobretudo em “desmanches” de carros, onde é muito usado para fabricação de feixes de molas e “facões” de suspensão de Fuscas e Kombis. Tem como características uma boa temperabilidade, alta resistência a tração e fadiga. Na condição temperado sua dureza alcança níveis de 58 HRC, o que o torna muito procurado para cutelaria.

### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 900/1050°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 760/820°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 820/840°C, resfriamento em óleo
- Revenimento: 100/300°C

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida + traços de Austenita retida

Dureza típica pós Têmpera: 56/58 HRC

Dureza típica pós revenimento: 55/57 HRC

- AÇO CARBONO 6160 - EQUIVALÊNCIA: DIN 58CrV4

### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	Cr	V
0,55/0,62	0,80/1,10	0,90/1,20	0,07/0,12

Características gerais do aço: Aço para confecção de peças de construção mecânica, largamente utilizado em diafragmas de embreagem em autos, pode ser usado com sucesso em cutelaria devido a sua boa resposta ao tratamento térmico proporcionado pelo elevado teor de carbono e presença de elementos de liga. O cromo atua como formador de carbonetos e como redutor na velocidade crítica de resfriamento na têmpera proporcionando boa resposta em meios como óleo. Já o vanádio, além de formador de carbonetos tem forte influência ao elevar a temperatura de crescimento de grão da austenita sendo, portanto um forte refinador de grão, o que reflete em uma melhor propriedade obtida durante tratamento térmico de têmpera e revenimento.

### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 900/1050°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 780/830°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 820/850°C, resfriamento em óleo
- Revenimento: 100/300°C

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida + traços de Austenita retida

Dureza típica pós Têmpera: 56/58 HRC

Dureza típica pós revenimento: 55/57 HRC

### 4.2 - FAMÍLIA DE AÇOS FERRAMENTA:

- AÇO 52.100 - EQUIVALÊNCIA: WNr. 1.3505 / AISI 52100

### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	Cr
1,00	0,35	1,45

Características gerais do aço: Aço com grande resistência para uso em ferramentas adequadas a trabalhos a frio. Usado também na confecção de pistas internas e externas de rolamentos. Apresenta excelente desempenho quando utilizado na produção de facas e laminas.

Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 950/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 800/850°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 840/850°C, resfriamento em óleo.

Recomendações: Antes de aquecer o aço até esta temperatura recomenda-se pré-aquecer o material a no mínimo 250/300°C lentamente. Durante resfriamento da têmpera a peça não deve ser resfriada até a temperatura ambiente. O resfriamento deve ser realizado até -70°C e imediatamente deve-se efetuar o primeiro revenimento.

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida

Dureza típica pós Têmpera: 63/65HRC

Dureza típica pós revenimento: 59/62HRC

Deve ser feito no mínimo dois revenimentos e entre cada um deles a peça deve ser resfriada em ar calmo até a temperatura ambiente. A dureza será reduzida conforme a temperatura usada no revenimento, como pode ser observada no gráfico a seguir:

- Revenimento duplo: conforme dureza desejada - figura abaixo:

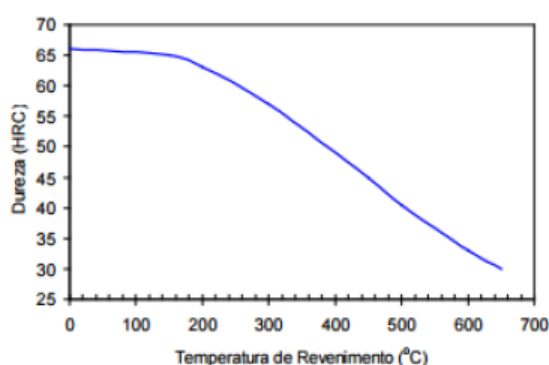


Fig. 7 - Curva de revenimento aço 52.100

- AÇO 01 - EQUIVALÊNCIA: WNr 1.2510; DIN 100MnCrW4

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	Cr	W	V
0,95	1,25	0,50	0,50	0,12

Características gerais do aço: Aço de média liga temperável em óleo. Possui alta resistência ao desgaste proporcionando boa retenção de fio de corte.

### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 950/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 750/820°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 790/820°C, resfriamento em óleo.

Recomendações: Antes de aquecer o aço até esta temperatura recomenda-se pré-aquecer o material a no mínimo 250/300°C lentamente. Durante resfriamento da têmpera a peça não deve ser resfriada até a temperatura ambiente. O resfriamento deve ser realizado até -60°C e imediatamente deve-se efetuar o primeiro revenimento.

- Revenimento duplo: conforme dureza desejada - figura abaixo:

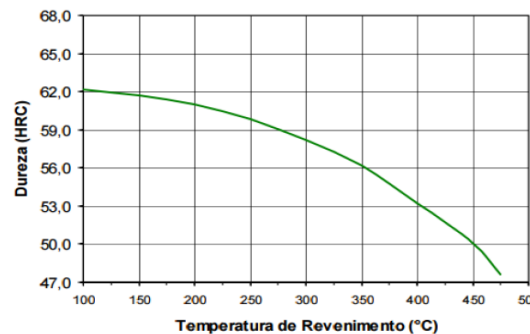


Fig. 8 - Curva de revenimento aço O1.

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida

Dureza típica pós Têmpera: 62HRC

Dureza típica pós revenimento: 59/61HRC

- AÇO D6 - EQUIVALÊNCIA: WNr 1.2436; AISI D6

### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Mn	Cr	W	V
2,10	0,30	11,50	0,70	0,20

Características gerais do aço: Aço com grande resistência a abrasão usado para confecção de facas e moldes cerâmicos. Tem excelente retenção de fio no caso de facas.

### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 950/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 830/850°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 950/970°C, resfriamento em óleo.

Antes de aquecer até esta temperatura recomenda-se pré-aquecer o material a no mínimo 250/300°C lentamente.

Recomendações: Antes de aquecer o aço até esta temperatura recomenda-se pré-aquecer o material a no mínimo 250/300°C lentamente. Durante resfriamento da têmpera a peça não deve ser resfriada até a temperatura ambiente. O resfriamento deve ser realizado até -60°C e imediatamente deve-se efetuar o primeiro revenimento.

- Revenimento duplo: conforme dureza desejada - figura abaixo:

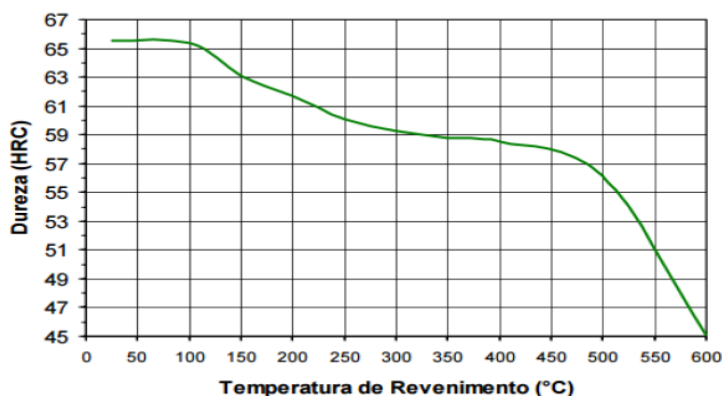


Fig. 9 - Curva de revenimento aço D6.

Microestrutura final pós TR: Martensita revenida

Dureza típica pós Têmpera: 63/65HRC

Dureza típica pós revenimento: 59/61HRC.

#### 4.3 - FAMÍLIA DE AÇOS INOXIDÁVEIS:

- AÇO INOX 420- EQUIVALÊNCIA: AISI 420

#### **COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA ( % em peso ):**

C	Cr	Mn	Si
$\geq 0,15$	13,0	$\leq 1,00$	$\leq 1,00$

Características gerais do aço: O aço AISI 420 está na extremidade inferior do espectro de qualidade, mas ainda é perfeitamente adequado para aplicações de uso geral. Tem um teor de carbono relativamente baixo (geralmente menor que 0,30%), o que torna a lâmina mais macia e, como resultado, a tendência é que ela perca o “fio” mais rapidamente do que os aços mais nobres. As lâminas feitas de aço 420 perderão rapidamente sua borda afiada durante um período de tempo relativamente curto. Dito isto, é tipicamente difícil com alta flexibilidade e extremamente resistente a manchas, mas não é particularmente resistente ao desgaste. Como seria de esperar, as facas feitas com este tipo de aço são geralmente de baixo custo, produzidas em massa. Pode ser considerado como a porta de iniciação à cutelaria de inox.

#### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 950/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 840/880°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 990/1030°C, resfriamento em óleo.
- Revenimento: 100/ 200°C - Pode-se obter uma melhora na dureza e tenacidade pós têmpera fazendo-se um tratamento sub-zero após a têmpera e antes do revenimento (aprox. -30°C)

Microestrutura final pós Têmpera: Martensita + carboneto + austenita retida (sem sub-zero) e Martensita + carbonetos (com sub-zero )  
Dureza típica pós Têmpera - sem sub-zero: 52/56HRC  
Dureza típica pós Têmpera - com sub-zero: 53/57HRC

- AÇO INOX 1.4116 - EQUIVALÊNCIA: WNr. 1.4116; DIN X50CrMoV15

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% em peso):

C	Cr	Mo	V
0,5	14,5	0,50	0,15

Características gerais do aço: Aço inoxidável ao cromo de alto desempenho na cutelaria. O elevado teor de cromo, mais alto que o aço AISI 420 confere elevada resistência à corrosão. As adições de molibdênio e vanádio, fortes formadores de carbonetos propiciam elevada dureza, sendo que o vanádio atua principalmente como refinador de grão, propiciando estrutura refinada e excelente resposta ao tratamento térmico. Essa combinação proporciona elevada retenção do “fio” de corte proporcionando vida mais duradoura e menor necessidade de reafiações.

#### Tratamentos Térmicos:

- Forjamento: 950/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 750/800°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 1020°/1070° C, resfriamento ar ou óleo.
- Revenimento: 200/ 300°C - Pode-se obter uma melhora na dureza e tenacidade pós têmpera fazendo-se um tratamento sub-zero após a têmpera e antes do revenimento (aprox. -20°C).

Recomendação: para o caso de não efetuar-se têmpera sub-zero, recomenda-se efetuar duplo revenimento após têmpera para garantir melhor tenacidade.

PROCEDIMENTO DE T+R: O ciclo de tratamento térmico bem como as microestruturas e transformações típicas do processo, são apresentados a seguir (Figura 10):

Ciclo de tratamento térmico esquemático utilizado em cutelaria

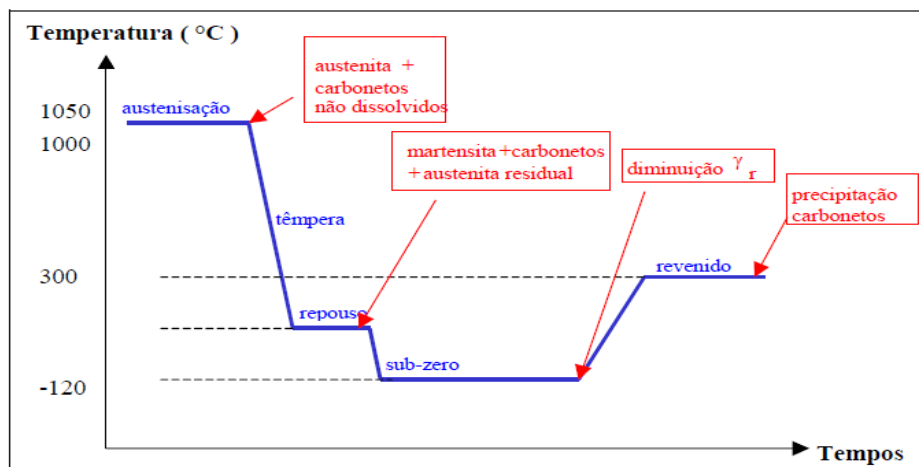


Fig. 10 - Ciclo de tratamento térmico inox 1.14116.



O objetivo do tratamento térmico da têmpera e revenimento é fornecer ao aço inoxidável uma estrutura martensítica e uma dureza elevada. Consiste de um tratamento de austenitização a uma temperatura e tempo que possibilitem uma solubilização a mais completa possível do carbono e dos demais elementos de liga, seguido de um resfriamento rápido que resulte na transformação martensítica.

Os parâmetros que mais influenciam na estrutura e na dureza obtida são, além da composição química, a temperatura e o tempo de austenitização, bem como a velocidade de resfriamento.

A dureza passa por um máximo para temperaturas de austenização entre 1000 e 1100°C. Em temperaturas inferiores, ocorre a solubilização incompleta dos carbonetos que vai limitar o teor de C dissolvido na austenita e portanto o teor de carbono presente na martensita resultante.

Por outro lado, para temperaturas superiores a 1.150°C, a dureza pode cair devido à presença de ferrita delta que pode se formar em função da composição, ou devido à presença de austenita residual para os aços de maior teor de C, uma vez que em temperaturas elevadas mais carbono e cromo são colocados em solução sólida e conseqüentemente abaixam a temperatura de início de transformação (Ms).

#### RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS:

- A peça NÃO deve estar em contato direto com a soleira ou outra região do forno, deve ficar suspensa ou apoiada em uma grade;
- Aquecimento: A uma temperatura de Austenitização deve ser na ordem de ~1050°C (temperatura da peça). A temperatura da peça deve ser preferencialmente controlada/medida com um pirômetro;
- Tempo de encharque: Deve ser de aproximadamente 10 minutos após a peça atingir a temperatura de Austenitização (tempo estimado para um aço de espessura convencional para facas ~2,80 mm);
- Meio de resfriamento: Como meio de resfriamento pode ser utilizado ar forçado, desde que o ar soprado seja uniforme em toda superfície da peça;
- Por se tratar de um aço de alta liga, é inevitável a formação de Austenita retida, esta austenita pode ser minimizada com um tratamento suplementar sub-zero.
- Revenimento: Na sequência a peça deve ser submetida a um tratamento de alívio de tensões (Revenimento) a uma temperatura adequada;

Microestrutura final pós Têmpera: Martensita + carboneto + austenita retida (sem sub-zero) e Martensita + carbonetos (com sub-zero )

Dureza típica pós Têmpera - sem sub-zero: 55/57HRC

Dureza típica pós Têmpera - com sub-zero: 57/59HRC

- Aço Inox BOHLER N 690: EQUIVALÊNCIA: DIN X105CrCoMo18-2 (1.4528)

#### COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% em peso):

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Co
1,08	0,40	0,40	17,30	1,10	0,10	1,50

Características gerais do aço: Aço inoxidável ao Cromo, martensítico e com adições de Molibdênio, Cobalto e Vanádio. Indicado especialmente para ferramentas onde são desejados endurecimentos para altos níveis de dureza. O elevado teor de Cromo proporciona excepcional resistência à oxidação principalmente se estiver na condição de lixamento fino ou polido. Este aço é especialmente indicado para ferramentas de corte com grande necessidade de retenção de fio como por exemplo: facas especiais, instrumentos cirúrgicos, facas rotativas para indústria de alimentos, etc.

Microestrutura final após têmpera: Martensita + carbonetos

- DUREZA TÍPICA PÓS-TÊMPERA: 60/62 HRC
- DUREZA TÍPICA PÓS-REVENIMENTO: 58/60 HRC
- CURVA TÍPICA DE REVENIMENTO PÓS- TÊMPERA:

No gráfico abaixo é possível ver a variação da dureza do material após têmpera e durante o revenimento.

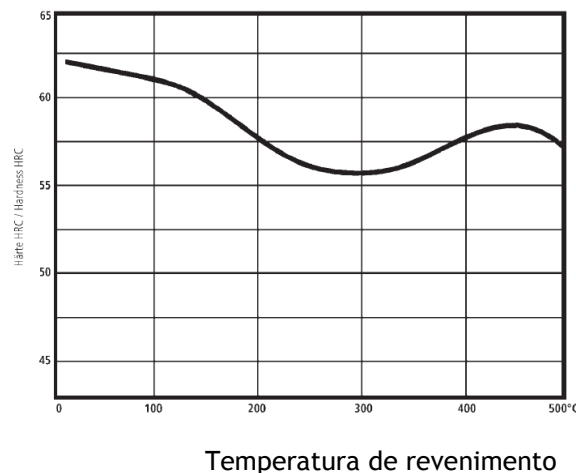


Fig. 11 - Curva de revenimento aço BOHLER N690.

Fonte de dados: MAXIME FERRUM + Catálogo BOHLER

Para obtenção dos maiores valores de dureza, o revenimento deve ser feito na faixa de temperatura de até 150°C.

Deve-se evitar revenimentos na faixa de temperatura de 350/500°C, pois apesar de haver uma elevação na dureza ocorre a fragilização do material (dureza secundária).

- Aço Inox BOHLER 440C: DIN X105CrCoMo17 (1.4525)

COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% em peso):

Composição Química nominal (% peso)						
C	Si	Mn	P máx.	S máx.	Cr	Mo
0,99	0,48	0,37	0.032	0.0024	16,0	0,47

Características gerais do aço: Aço inoxidável ao Cromo, martensítico e com adições de Molibdênio. Indicado especialmente para ferramentas onde são desejados endurecimentos para altos níveis de dureza e resistência ao desgaste como rolamentos para alta resistência a corrosão.

A combinação dos altos teores de Carbono e Cromo garantem formação de carbonetos extremamente duros propiciando alta resistência a desgaste e retenção de fio

#### TRATAMENTOS TÉRMICOS:

- Forjamento: 900/1150°C, resfriando no forno.
- Recozimento: 780/840°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 1000/1050°C, resfriamento em óleo.
- Revenimento: 100/200°C

Microestrutura final após têmpera: Martensita + carbonetos

- DUREZA TÍPICA PÓS-TÊMPERA: 61 HRC
- DUREZA TÍPICA PÓS-REVENIMENTO: 59/60 HRC
- CURVA TÍPICA DE REVENIMENTO PÓS- TÊMPERA:

No gráfico abaixo é possível ver a variação da dureza do material após têmpera e durante o revenimento. Para obtenção dos maiores valores de dureza, o revenimento deve ser feito na faixa de temperatura de até 150°C.

Deve-se evitar revenimentos na faixa de temperatura de 350/500°C, pois apesar de haver uma elevação na dureza ocorre a fragilização do material (dureza secundária).

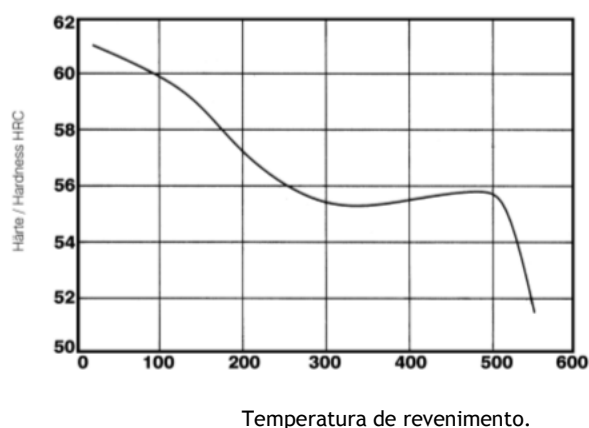


Fig. 12 - Curva de revenimento aço inox BOHLER 440C.

## - Aço Inox SANDVIK 13C26:

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% em peso):

C	Cr
0,68	13,00

Características gerais do aço: O aço Sandvik 13C26 é um aço inoxidável martensítico, que após tratamento térmico caracteriza-se por: elevada dureza, ótima resistência à corrosão e excelente resistência ao desgaste.

Foi especialmente projetado para ser utilizado na fabricação de lâminas de navalhas, instrumentos cirúrgicos e também para diferentes tipos de facas industriais para processamento de alimentos. O alto teor de carbono foi especialmente balanceado para garantir estrutura formada por finos carbonetos secundários isenta, portanto dos grosseiros carbonetos primários que apesar de duros, são excessivamente frágeis.

O elevado teor de carbono e a estrutura extremamente refinada proporcionam elevada retenção do fio de corte proporcionando vida mais duradoura à lâmina. Após tratamento térmico a estrutura é constituída de martensita, fina distribuição de carbonetos e cerca de 15% de austenita retida, proporcionando uma ótima combinação de dureza, resistência ao desgaste, ductilidade e resistência a corrosão.

### TRATAMENTOS TÉRMICOS:

- Recozimento: 750/800°C, com resfriamento em forno.
- Têmpera: 1050/1080°C, resfriamento em óleo.
- Revenimento: 150/ 250°C
- Sub-zero: após têmpera a - 20°C (não obrigatório)

Recomendação: para o caso de não efetuar-se têmpera sub-zero, recomenda-se efetuar duplo revenimento após têmpera para garantir melhor tenacidade. Entre um revenimento e outro a peça deve resfriar-se até temperatura ambiente.

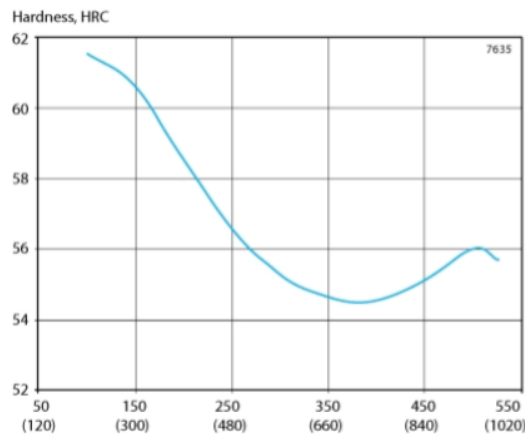
Microestrutura final após têmpera: Martensita + carboneto + austenita retida ( sem sub-zero)/ Martensita + carbonetos (com sub-zero)

- DUREZA TÍPICA PÓS-TÊMPERA SEM SUB-ZERO: 57/59 HRC
- DUREZA TÍPICA PÓS-TÊMPERA COM SUB-ZERO: 59/61 HRC.

### DUREZA APÓS REVENIMENTO

No gráfico abaixo é possível ver a resposta de dureza deste material durante o revenimento.

Com revenimento a 150°C a dureza medida cai para pouco mais de 60HRC e a 250°C a dureza obtida ainda é de 58HRC.



Temperatura de revenimento

Fig. 13 - Curva de revenimento aço inox SANDVIK 13C26.

Fonte: Dados Catálogo Sandvik.

#### - Aço Inox SANDVIK 14CN28:

Características gerais do aço: o aço 14C28N é um aço inoxidável martensítico ao cromo, fabricado na Suécia pela Sandvik, com a composição química otimizada para a máxima performance e para aplicação na fabricação de facas profissionais de alta qualidade. Sua composição química proporciona uma combinação única visando maximizar as seguintes características:

- excelente retenção de fio
- alta dureza
- alta resistência à corrosão

O Sandvik 14C28N é especialmente recomendado para aplicação em facas cujas aplicações exigem boa retenção de fio e estabilidade do mesmo (característica principal deste aço) como por ex.: canivetes de bolso, facas de “chef”, de caça e de pesca.

#### COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA (% PESO):

C	Si	Mn	P	S	Cr	N
0.82	0.2	0.6	≤0.025	≤0.010	14	0.11

O teor de carbono irá proporcionar uma resposta a têmpera excelente além de garantir a não existência de carbonetos grosseiros como existentes nos aços de teores mais elevados de carbono, que resultam em fragilidade, dificuldade de reafiação e arranchamentos (dentes no fio).

O Nitrogênio irá proporcionar aumento da resistência mecânica e dureza, influenciando também decisivamente na resistência a corrosão.

- CONDIÇÃO DE FORNECIMENTO:

Chapas recozidas e decapadas nas seguintes dimensões:

Espessuras: mínima 1,0 mm e máxima 4,5 mm

Largura: 380 mm / Comprimento: de 0,5 a 4,0 metros

- TRATAMENTO TÉRMICO:

a) Têmpera:

Não difere dos aços inoxidáveis martensíticos tradicionais: aquecimento a 1050°C, manutenção na temperatura por 5 minutos e resfriamento em óleo, tornando-o vantajoso em relação aos demais aços mais complexos.

b) Revenimento:

O gráfico a seguir mostra a resposta do 14C28N ao tratamento e revenimento após têmpera com a dureza obtida a cada temperatura de revenimento:

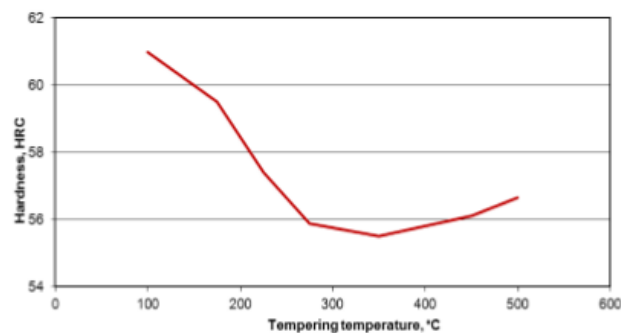


Fig. 14 - Curva de revenimento aço inox SANDVIK 14CN28.

A partir de 100°C começa a haver uma queda na dureza inicial de 61HRC. A 200°C a dureza obtida após revenimento é de 58,5HRC e a 250°C obtém-se dureza de aprox. 57HRC. (dados de uma espessura de 2,5 mm e tempo de revenimento de 30 minutos)

Deve-se seguir estritamente a temperatura de austenitização para obter-se a correta estrutura. Nas figuras abaixo pode ser verificada a importância da correta temperatura:

a) Temperatura de têmpera muito alta:



Temperatura alta de austenitização gerará estrutura grosseira com alto teor de austenita retida (cerca de 30%) e poucos carbonetos. Consequência: baixa dureza e péssima resistência ao desgaste (retenção de fio).

b) Temperatura de têmpera baixa:



A baixa taxa de resfriamento após austenitização gerará precipitação de carbonetos nos contornos de grãos. Consequência: fragilidade e baixa resistência a corrosão.

c) Temperatura correta de têmpera:



A correta temperatura gerará uma otimização do teor de austenita retida (aprox.. 15%) e uma distribuição uniforme de carbonetos pela matriz. Consequência: melhor combinação possível de dureza, resistência ao desgaste, ductilidade e resistência a corrosão.

A máxima dureza é obtida com o teor de austenita retida de cerca de 15%. Pode-se aumentar a dureza através de resfriamento sub-zero, porém o aumento não é tão significativo, sendo de aproximadamente 1 a 2 HRC.

Fonte: Dados Catálogo Sandvik.

ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA SIDERURGIA

Edição 133 - maio/jun - 2019

[https://issuu.com/webgrips/docs/sb133\\_site](https://issuu.com/webgrips/docs/sb133_site)

Edição 134 - jul/ago - 2019

[https://issuu.com/webgrips/docs/sb134\\_site](https://issuu.com/webgrips/docs/sb134_site)