

# AÇOS PRÉ-TRATADOS PARA CONFORMAÇÃO E AÇOS COMPOSTOS<sup>1</sup>

*Peter Rademacher<sup>2</sup>  
André Sereno Lopes<sup>3</sup>  
Antenor Ferreira Filho<sup>4</sup>*

## **Resumo**

O presente trabalho descreve vantagens do uso de aços pré-tratados com microestrutura 100% bainítica ou aços compostos (Triwael®) em componentes metálicos de diversas indústrias e mercados. Através da caracterização mecânica, química e metalográfica demonstram-se as propriedades de aços de alta resistência associada à alta ductilidade. Os resultados mostram casos de sucesso, onde se nota o ganho funcional em componentes metálicos assim como ganhos financeiros no processo de produção dos mesmos.

**Palavras-chave:** Pré-tratado; Aço composto; Triwael; Bainítico.

## **PRE TREATED STEEL FOR FORMING OPERATION AND COMPOUND STEEL**

### **Abstract**

This paper describes advantages of using pre-hardened steel with 100% bainite microstructure or steel composites Triwael® in the metallic components of various industries and markets. Through the mechanical, chemical and metallographic characterization, the properties of high strength and high ductility steel are demonstrated. The results show cases of success, where the functional and financial gains in the process and in products are demonstrated.

**Key words:** Pre-hardened; Composite steel; Triwael; Bainitic.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.*

<sup>2</sup> *Engenheiro; Diretor da Técnica de Materiais da CD Waelzholz, Hagen – Alemanha.*

<sup>3</sup> *Mestre em Metalurgia; Supervisor de Produto e Desenvolvimento da Brasmatal Waelzholz S.A. Ind. e Com., SP.*

<sup>4</sup> *Doutor em Metalurgia; Diretor Industrial da Brasmatal Waelzholz S.A. Ind. e Com., SP.*

## 1 INTRODUÇÃO

A contínua busca na melhoria da qualidade e a diminuição de custos têm levado ao desenvolvimento e aprimoramento de aços inovadores. Em razão das suas vantagens técnicas e relação custo benefício, estes aços tendo sido a primeira escolha para muitas aplicações e desenvolvimentos em diferentes setores da indústria, como por exemplo, no setor de manufatura de molas.

Aços relaminados a frio inovadores são usados principalmente para aplicações avançadas, que requerem conformabilidade, resistência mecânica, resistência ao desgaste entre outros.

Em estreita cooperação com a indústria, os fornecedores de aços especiais desenvolvem tiras de aço relaminados a frio, com as características de materiais sob medida para o componente acabado.

Aços de médio e alto carbono bem como os de baixa liga devido as suas características e seu baixo custo são uma das principais matérias primas utilizadas para estas aplicações. Instalações modernas de têmpera contínua fazem uso de um eficiente método de resfriamento em banhos metálicos, um preciso controle de temperatura nos fornos e, desta forma são capazes de atender aos requisitos mais rigorosos em relação à planicidade, retilidade, microestrutura uniforme, propriedades mecânicas homogêneas, com o melhor acabamento superficial possível, proporcionando redução de custos de produção para uma grande variedade de possíveis aplicações que requerem alta resistência à tração e maior tenacidade dos aços.

Neste trabalho serão apresentados dois tipos de tiras de aço relaminados, nas seguintes condições:

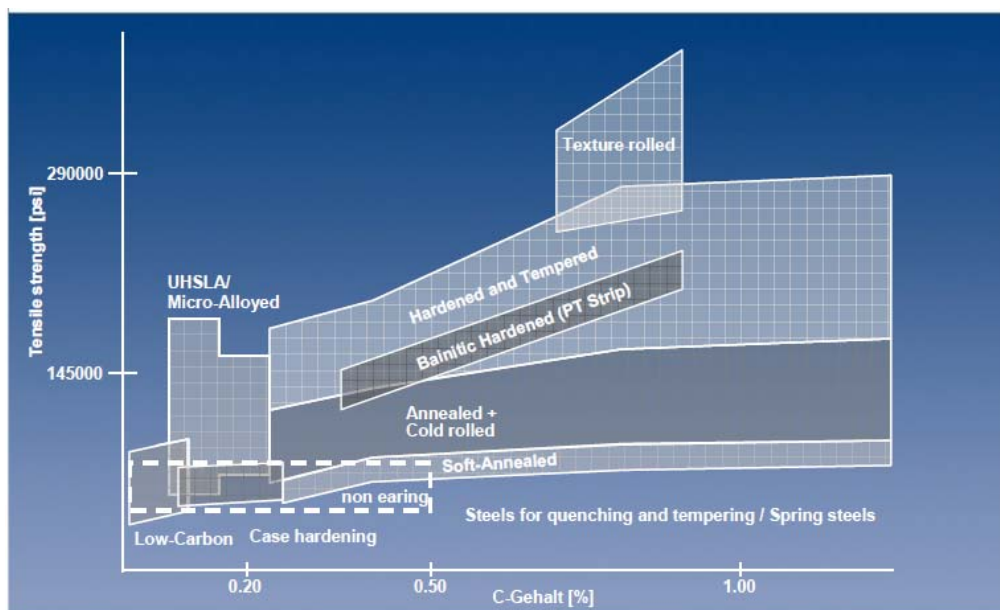
- aço relaminado pré-tratado bainítico; e
- aço relaminado composto.

## 2 MATERIAIS

### 2.1 Aços Relaminados Pré-Tratados com Estrutura Bainítica

As composições químicas de materiais utilizados em aços pré-tratado bainítico incluem aços tratáveis termicamente sem adição de ligas ou com pequenas quantidades de elementos de ligas. A tensão de escoamento destes aços é determinada principalmente pela porcentagem dos elementos químicos como carbono, manganês, cromo, molibdênio, vanádio e silício. Espessuras entre 0,10 mm e 4,0 mm podem ser pré-tratadas com microestrutura bainítica em processo contínuo.

Com base nos grupos de materiais mostrados na Figura 1, pode-se observar o amplo espectro de aplicações possíveis para os grupos de aços temperados e revenidos com um teor de carbono variando de cerca de 0,3% a mais de 1,3% e é possível alcançar, dependendo da especificação e tratamento térmico, resistência à tração entre 800 N/mm<sup>2</sup> a 2.600 N/mm<sup>2</sup> com fases estruturais únicas. Uma variedade de tipos de aços podem ser selecionados em relação à resistência, dureza e características necessárias de conformação e resistência ao desgaste desejada.



**Figura 1.** Espectro de aplicações possíveis para aços relaminados.<sup>(1)</sup>

Os processos de tratamento térmico de endurecimento têm como ponto comum o fato de que satisfazem o esquema padrão de austenitização, tempo na temperatura de tratamento escolhida e resfriamento a taxas pré-determinadas.

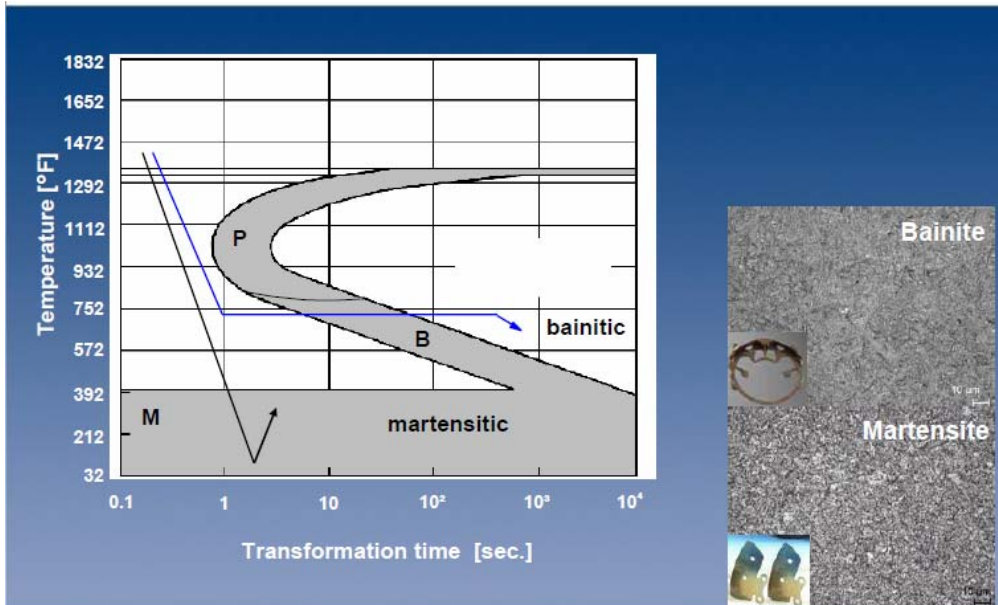
Os aços pré-temperados obtidos pelo processo contínuo de têmpera e revenimento martensítico envolvem taxas de resfriamento muito elevada com a supressão de processos de difusão, ou seja, o processo ocorre pelo sub-resfriamento da austenita. Ao fazê-lo, o material fica sujeito a uma variação de volume por contração durante o processo de resfriamento e dilatação simultânea devido à transformação microestrutural. O resultado é um estado de tensão elevada correspondente. Ainda dentro do processo um posterior revenimento alivia a microestrutura e confere ao material valor de dureza especificada.

Aços pré-temperados e revenidos para se atingir uma microestrutura martensítica normalmente apresentam alta dureza e resistência à tração. No entanto, estes aços fornecem limitada conformabilidade e não podem ser recomendados para peças com geometrias complexas.

Peças de alta complexidade geométrica com características de mola são normalmente produzidas em duas etapas: a primeira parte é estampagem ou dobra feita em um aço de médio a alto teor de carbono na condição de recozido esferoidizado. Em uma etapa subsequente a peça estampada é tratada térmicamente para obter-se uma microestrutura martensítica ou bainítica. As taxas de resfriamento extremamente rápidas nestes produtos na forma acabada geralmente levam ao retrabalho oneroso ou altas quantidades de sucata causada pela distorção geométrica. Às vezes formas geométricas complexas, com tolerâncias restritas nem sequer podem ser produzidas.

No caso dos aços pré-tratados bainíticos obtidos do processo contínuo de austêmpera, uma microestrutura bainítica é obtida mantendo-se a temperatura de resfriamento isotermicamente entre as temperaturas exigidas pelas transformações martensítica e sorbítica. Esta temperatura de processo define então a forma e a dureza da microestrutura. Independente da sua forma, a bainita é uma microestrutura constituída de ferrita com carbonetos incorporados.

A Figura 2 mostra a curva TTT de um aço SAE1070 com as fases individuais da microestrutura de martensita ou bainita.



**Figura 2.** Curva TTT de um aço SAE1070.<sup>(2)</sup>

A vantagem do material bainítico em relação ao material martensítico é sua maior ductilidade o que se traduz em uma melhora significativa na conformabilidade mesmo quando apresenta valores de resistência à tração entre 1.200 N/mm<sup>2</sup> e 1.600 N/mm<sup>2</sup>. A Tabela 1 apresenta a linha de produtos de aços pré-tratados martensíticos e bainíticos (PT-Strip) da CDW.

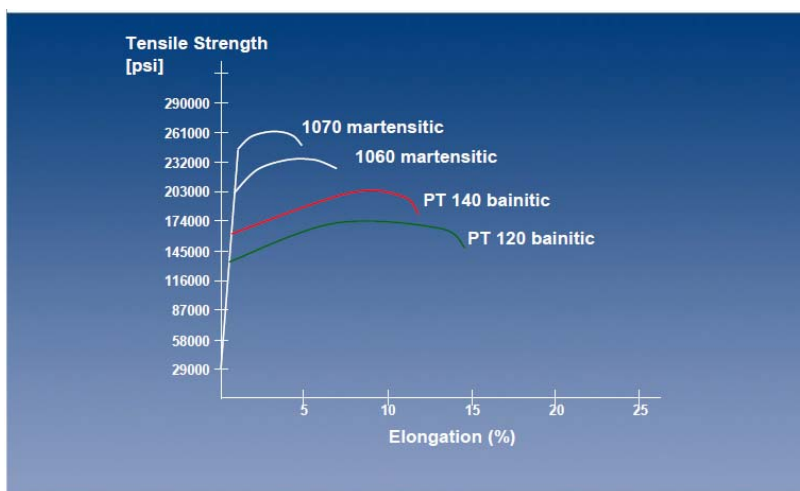
**Tabela 1.** Linha de produtos pré-tratados da CDW<sup>(3)</sup>

<b>Martensite hardening</b> (+QT) acc. EN 10132-4	<b>Bainite-hardening</b> <b>PT-Strip</b>	
Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Grade	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>
	PT 90 Mn	800 - 1000
	PT 100	900 - 1100
1100 - 1700	PT 110	1000 - 1200
1150 - 1750	PT 120	1100 - 1300
1200 - 1900	PT 130	1200 - 1400
1200 - 1900	PT 140	1300 - 1500
1200 - 2000	PT 150	1400 - 1600
1200 - 2100		
1200 - 2100		
1200 - 1700		
1200 - 1800		

Resultados de ensaio de tração podem ser vistos em diagramas tensão deformação apresentados na Figura 3. O gráfico mostra curvas de resistência à tração de um mesmo aço selecionado produzido por têmpera e revenimento obtendo microestrutura martensítica e aços austêmperados com microestrutura bainítica. As diferenças na resistência à tração e deformação dos diferentes tipos de



microestruturas resultantes são claras e, portanto, visível no aço selecionado no que diz respeito à combinação de força e capacidade de conformação (alongamento).



**Figura 3.** Curvas de resistência à tração de dois aços produzidos obtendo microestrutura martensítica e bainítica.<sup>(2)</sup>

Aços relaminados de microestrutura bainítica são adequados para processos de estampagem ou corte fino (*fineblanking*). A alta conformabilidade permite altos coeficientes de dobra e também processos de estampagem ou estiramento. Estes aços são usados principalmente na indústria automotiva de molas e na indústria de componentes elétricos. A Figura 4 mostra exemplos típicos de componentes fabricados com aço pré-tratado bainítico.



**Figura 4.** Exemplos típicos de componentes fabricados com aço pré-tratado bainítico.<sup>(2)</sup>

Os aços relaminados bainíticos possuem uma relativa elevada razão elástica ( $LE/LR =$  razão entre o limite de escoamento e a resistência a tração), em torno de 80% a 85%. Portanto, para processos de dobra faz-se necessária uma compensação do retorno elástico. A quantidade total de dobra excedente para compensação do retorno elástico é determinada por dois componentes:

- a severidade de dobra, representada pelo raio de curvatura da dobra em relação à espessura do aço; e
- o valor do limite de escoamento.

Tomando-se como exemplo um aço classe PT140 de espessura 1,016 mm e uma peça com dobra de 90° transversal à direção de laminação, o raio mínimo possível isento de trincas é de 1,94 mm. A compensação necessária calculada ou dobra excedente calculada deve ser de aproximadamente 9° (graus). Os dados do exemplo são extraídos de um caso prático real. Existe também um banco de dados que permite o cálculo de raios possíveis e dobras excedentes necessários aplicados a cada tipo de aço pré-tratado bainítico.

## 2.2 Aços Relaminados Compostos - Triwael®

Uma segunda família de aços inovadores diz respeito aos aços relaminados compostos. São utilizados em componentes extremamente complexos que devem em diversas situações ter bom comportamento em solicitações contraditórias. Por um lado eles têm de fornecer alta conformabilidade, a fim de permitir que formem uma geometria complexa, por outro lado, eles devem fornecer superfícies duras de alta resistência ao desgaste. O núcleo dúctil deve permitir a conformação e garantir os menores desvios de tolerâncias e ainda garantir características tecnológicas do produto final.

Tradicionalmente estes componentes são conformados a partir de aços de baixo teor de carbono e posteriormente são submetidos a processos termoquímicos como exemplo a cementação.

Peças de geometria complexa, conformadas com material muito fino são muito propensas à rejeição e retrabalho. O principal motivo destes desvios deve-se a distorção e ou completa carbonização através da espessura da peça causada pelo processo termoquímico.

O uso de aços compostos relaminados pode tornar o uso do processo de cementação e em alguns casos o processo de têmpera e revenimento de peças, obsoleto. Além disso, o uso dessa classe permite planejar uma variedade de características de uso diversificado como, camadas de aço de alto carbono na superfície em combinação com um núcleo de baixo teor de carbono que permitem durezas extremamente favoráveis com distorções minimizadas após ciclos reduzidos de têmpera em comparação com processos normais de cementação. A temperatura de austenitização deve ser ajustada de acordo com a camada de alto teor de carbono da superfície.

Após a determinação dos tipos de aço e seção transversal das matérias-primas a relaminação pode criar tiras e perfis que são feitas a partir de tipos de aço totalmente diferentes. Camadas superficiais feita de aços ligados e um núcleo de aço sem liga ou vice-versa são passíveis de produção.

Adicionalmente, camadas podem ser criadas de forma simétrica ou assimétrica.

As características dos aços usados são projetadas para a demanda de cada cliente que é derivada de exigências do uso final.

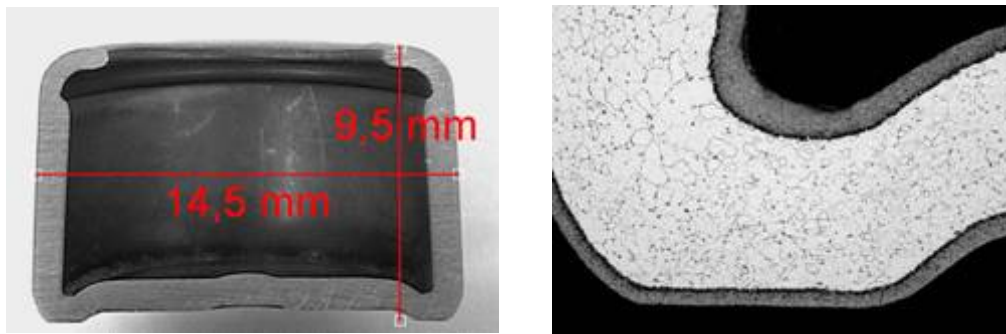
A combinação arbitrária de uma liga maleável-rígida-maleável ou rígida-maleável-rígida (Figura 7) em condição não-ligada ou baixa liga oferece novas possibilidades de projetos em conexão com características de conformação semelhantes às de aços de baixo teor de carbono utilizados em processos de estampagem extra-profunda.

Este produto recém-desenvolvido através da relaminação abre novas possibilidades para o usuário final no projeto de componentes e processos. Essas possibilidades ultrapassam de longe, aquelas conhecidas no processo de cladeamento.

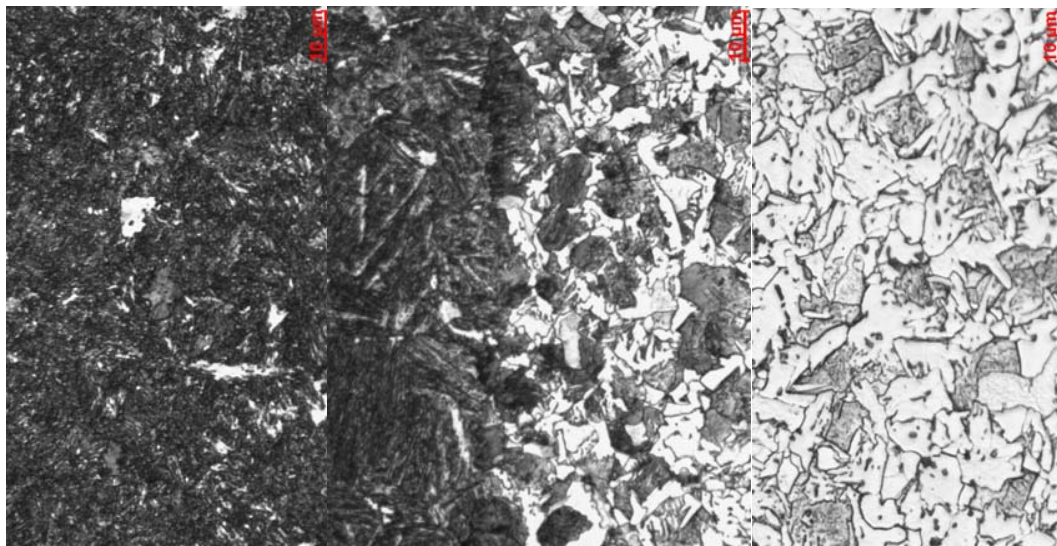
Os aços relaminados compostos feitos sob medida possibilitam os usuários criarem produtos inovadores feitos a partir do aço. Exemplos de aplicação podem ser vistos nas figuras a seguir. Nestas aplicações há o requisito de alta conformabilidade associado à alta resistência ao desgaste superficial.



**Figura 5.** Aplicação de material Triwael®. (3)



**Figura 6.** Peça anterior vista em corte com material Triwael®. (3)



Aço SAE 1070 / HRC 60

Aço SAE 1015 / HRB 78

**Figura 7.** Microestrutura de uma seção da peça entre a superfície e o núcleo em aço Triwael®. (3)

### 3 CONCLUSÕES

Os aços relaminados a frio oferecem uma ampla gama de potencial para o desenvolvimento de produtos e à redução de custos, eliminando etapas onerosas de produção subseqüentes.



O uso de aços pré-tratados com microestrutura 100% bainítica em substituição aos aços temperados e revenidos oferece diversas vantagens de processo e aplicação, como:

- redução de custos com eliminação de tratamento de Austêmpera ou têmpera e revenimento de peças conformadas;
- redução de custos devido à redução significativa de rejeições, retrabalhos e reclassificações;
- possibilidade de produção de peças estampadas com geometrias complexas;
- produção de tiras relaminadas com dureza de até 45 HRC; e
- ampla gama de espessuras possíveis de 0,10 mm a 3,0 mm.

Da mesma forma os aços compostos Triwael® podem ser utilizados em componentes metálicos de diversas indústrias e mercados com vantagens, como:

- maior grau de liberdade no design de peças complexas com camadas maleáveis ou rígidas;
- redução de custos devido à redução significativa de rejeições, retrabalhos e reclassificações;
- proporcionam tolerâncias dimensionais mais restritas no componente acabado;
- minimização o índice de rejeição/sucata devido às distorções;
- permitem um *design* simétrico ou assimétrico da espessura da camada externa com variações de espessura de camada de 10% a 40% da espessura do material (núcleo);
- produção de materiais com espessuras de 0,10 mm a 8,0 mm e larguras de até 650 mm; e
- substituição de processos de cementação ou têmpera e revenimento.

## REFERÊNCIAS

- 1 CD Wälzholz, Catálogo Geral de Produtos, Hagen, Sep/2007.
- 2 CD Wälzholz, Catálogo de produtos PT-Strip, Hagen, Aug/2008.
- 3 CD Wälzholz, Material de divulgação Triwael®, Hagen, Apr/2009.