

AÇOS DUAL PHASE PROCESSADOS A FRIO: CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL DE APLICAÇÃO - PRODUTOS USIMINAS¹

*Kleiner Marques Marra²
Ed Juarez Mendes Taiss³
Leonardo de Oliveira Turani⁴*

Resumo

Neste trabalho é inicialmente relatada a evolução da aplicação de materiais na estrutura e carroceria dos veículos automotores, desde sua concepção até os nossos dias. Com isto, percebe-se que atualmente os aços de dupla fase ferríticos-martensíticos (aços DP) têm mostrado grande potencial de utilização na indústria automotiva, podendo se tornar tão importantes quanto foram os aços carbono comuns até a década de 80. Por isto, são apresentadas algumas características dos aços DP na condição de laminados a frio, revestido ao zinco ou não. Adicionalmente, relata-se também as qualidades já desenvolvidas na Usiminas assim como as perspectivas do crescimento do fornecimento destes produtos para o setor automotivo nacional.

Palavras-chave: Aços *dual phase*; Laminados a frio; Galvanizados a quente.

DUAL PHASE STEEL COLD STEEL: CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS - USIMINAS PRODUCTS

Abstract

The materials evolution applied in car structure and body is described since its origin until the current days. It is placed that in next years Dual Phase steels (ferritic-martensitic or DP steels) will have the same importance of the carbon steels did before 80 decade. Some characteristics of these steels are appointed, in condition of coated and uncoated. Additionally, Usiminas DP steels are cited and are done perspectives to these materials in national automotive industry.

Key words: Dual phase steels; Cold rolled; Hot dip.

¹ *Contribuição técnica ao 45° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Galinhas - PE*

² *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Dr.Sc., Gerência de Marketing do Sistema Usiminas, Belo Horizonte, MG. kmarra@usiminas.com.br*

³ *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Especialista em Marketing e Administração, Gerência de Marketing do Sistema Usiminas; Belo Horizonte, MG. etaiss@usiminas.com.br*

⁴ *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Mestre em Administração, Gerência de Marketing do Sistema Usiminas, Belo Horizonte, MG. Iturani@usiminas.com.br*

1 BREVE HISTÓRICO DO SURGIMENTO DOS AUTOMÓVEIS

Antes de abordar os aços *Dual Phase* (aços de dupla fase: ferríticos-martensíticos), vale a pena alguns comentários sobre o surgimento dos automóveis e algumas referências sobre a evolução dos materiais aplicados no chassi e na carroceria de carros.

Os automóveis não foram inventados num simples dia ou por uma única pessoa. A concepção de um veículo movimentado por um sistema auto-propulsor evoluiu durante muito tempo e se deu ao redor do mundo de maneira evolutiva e complementar. Há relatos do século 12 de “carros” de madeira construídos por cientista italianos e movidos a vela, ou seja, acionados pelos ventos.⁽¹⁾

Projetos e desenhos de veículos com propulsão própria podem ser resgatados de manuscritos de cientista como Isaac Newton e Leonardo da Vinci, ao final da idade média e início da era industrial.⁽²⁾

No entanto, o primeiro “automóvel” que se tem notícia foi inventado pelo engenheiro e mecânico francês Nicolas Joseph Cugnot, em 1796, destinado a fins militares, ver figura 1. Cugnot usou um motor a vapor para movimentar o carro, que desenvolvia uma velocidade máxima de 4km/h. Este veículo tinha três rodas, com o motor posicionado externamente com relação ao seu corpo.^(1,2)

Por outro lado, o primeiro carro com motor a combustão interna foi projetado e construído por François Isaac de Rivaz, um suíço, em 1808, empregando como combustível o hidrogênio. Este tipo de motor foi sendo aprimorado com o tempo até o final do século 19 quando o alemão Karl Benz apresentou um modelo a gasolina de ótimo desempenho.^(2,3)

Registra-se que o carro elétrico tenha surgido nos anos 1830, criado pelo escocês Robert Anderson.⁽³⁾

Em 1892, Henry Ford produziu o primeiro carro a gasolina na América do Norte, que desenvolvia velocidades de até 100 km/h.

O padrão predominante de carro movido a gasolina ou a diesel que conhecemos hoje não estava bem definido no início do século 20. Para se ter uma idéia, nos Estados Unidos havia cerca de 4000 veículos em 1900, sendo apenas 25% de combustão interna (a gasolina). O restante era movido a vapor, de demorado início de movimentação, ou então veículos elétricos, conhecidos desde então por apresentarem baixa autonomia (percorriam no máximo 20 km). Nesta época, os automóveis eram como brinquedos ou passatempos de pessoas abastadas.

Com a grande disponibilidade de gasolina na América do Norte e Europa a partir da primeira década do século 20, os automóveis movidos a este combustível suplantaram seus concorrentes, ganharam popularidade e tornaram sucesso de vendas.

No Brasil, o Pai da Aviação pode ser considerado também o precursor de nossa indústria automobilística, pois o primeiro carro motorizado (produzido pela indústria francesa Peugeot) que chegou em solo brasileiro foi importado por Alberto Santos Dumont, em novembro de 1891.⁽³⁾

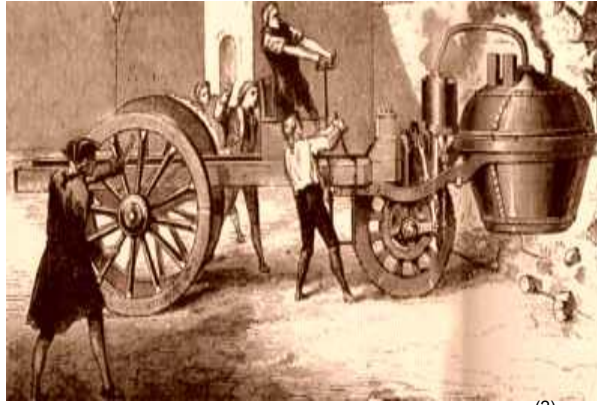


Figura 1 – Carro construído por Cugnot.⁽²⁾

2 EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS APLICADOS NA CARROCERIA E ESTRUTURA DOS CARROS

Explorando um pouco mais os aspectos históricos, deve ser comentado que os primeiros automóveis foram construídos basicamente com a utilização de madeira. Desta maneira, até o final do século 19 os carros eram muito parecidos com carruagens (veículos puxados por tração animal) (Figura 2).

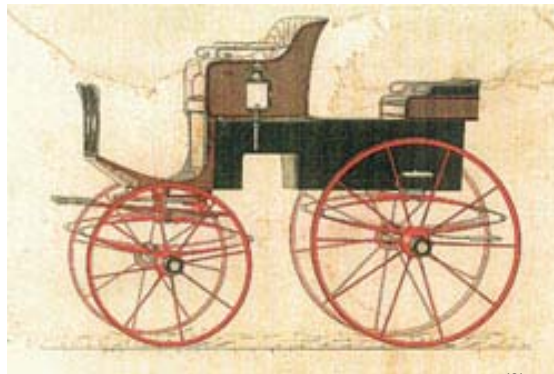


Figura 2 – Carro do final do século 19.⁽²⁾

No entanto, já no começo dos anos 1900 surgiram carros com carrocerias parcialmente feitas em aço e alumínio, porém com plataforma do chassi ainda em madeira. Nesta época, o aprimoramento de processos industriais de forjamento e de estampagem permitiu a confecção de painéis metálicos para as carrocerias.

Entretanto, a partir de 1910, com o aumento da potência dos motores dos carros, e conseqüentemente da velocidade desenvolvida pelos mesmos, foi iniciado o emprego do aço na estrutura dos veículos. Assim, registra-se que em 1915 foi construído o primeiro automóvel todo em aço, pelo inglês Edward Budd, que usou painéis de cobertura planos e muitas peças de fixação/reforço soldadas à carroceria.

Com o desenvolvimento e melhoria dos laminadores a quente na década de 1920, os aços começaram a ser aplicados intensivamente na carroceria e estrutura dos automóveis.⁽⁴⁾ Nesta época empregava-se chapas de espessura superior a 2 mm na carroceria.

Mais para o término dos anos 30, com o surgimento do processo de recozimento em caixa, nos EUA, passou-se a empregar materiais mais finos nas carrocerias (aços laminados a frio e recozidos).⁽³⁻⁵⁾ Com isto, as carrocerias se tornaram mais trabalhadas, mais curvilíneas e, evidentemente, mais leves.

Após a segunda grande guerra, principalmente em razão da escassez de aço no mundo, surgiram os primeiros carros com painéis de cobertura em ligas de alumínio. Um exemplo marcante foi um modelo da Land Rover (Reino Unido) com carroceria rebitada, toda em liga *Birmabright* (Al-Mg).⁽³⁾

Findada a segunda grande guerra, com a recuperação econômica, principalmente dos grandes países, ou seja, no início da década de 50, os automóveis passaram a ser produzidos em grande escala e por consequência a preços ao alcance popular. Isto se deu graças às melhorias tecnológicas implementadas pelos fabricantes de carros. Nesta fase intensificou-se o uso de chapas finas laminadas a frio (recozimento em caixa) na carroceria dos automóveis.⁽⁴⁻⁶⁾

Nos anos sessenta tinha-se os automóveis com projeto do tipo *body-on-frame*, com uma utilização maciça de aços carbono comuns (aços doce e aços C-Mn).

Com a ocorrência das duas grandes crises do petróleo nos anos 70, mais especificamente em 1973 e 1979, a ordem geral, na década seguinte (anos 80) foi a redução do peso dos veículos, passando-se a produzir carros com estrutura *unibody*. Isto permitiu uma redução do peso médio dos veículos de passeio da ordem de uma tonelada para casa dos oitocentos quilogramas. Nesta época iniciou-se também uma maior aplicação de plásticos e fibras na carroceria e estrutura dos carros (cerca de 4% do peso). Não obstante, o emprego de alumínio era ainda muito tímido. Um grande marco foi o surgimento da tecnologia de recozimento contínuo na NKK (atual JFE),⁽⁷⁾ Japão, em 1976, que possibilitou o desenvolvimento de aços laminados a frio de alta resistência mecânica, para substituir os tradicionais aços carbono-manganês, visando o alvo da economia de combustível, através de redução de peso.

Outro fato marcante a ser registrado a partir da década de 80 foi a expansão e migração dos grandes fabricantes de carros pelo mundo, sendo estabelecida grande competitividade entre os mesmos. Isto contribuiu também para um salto de desenvolvimento tecnológico na indústria automotiva, com o emprego de novos materiais nos carros, além do lançamento de processos inovadores de manufatura, junto com a aplicação mais intensa de dispositivos eletrônicos.

Outro fato marcante foi a questão ambiental ter ficado mais evidente, sendo reforçada a necessidade de automóveis mais leves.^(1,4)

Ao longo dos anos 80 surgiram vários novos tipos de aços, como os aços de alta resistência e microligados e os aços refosforados, tanto laminados a quente (aplicados em chassis e rodas) quanto laminados a frio (para carroceria e peças de reforço/segurança). Apareceram também os aços laminados a frio ultra-baixo carbono (IF), de destacada conformabilidade e os aços BH acalmados ao alumínio para painéis de fechamento.

Ao início década de 90, o grande marco foi a formação de um consórcio de grandes siderúrgicas mundiais, com participação inclusive da Usiminas, visando o estabelecimento do projeto ULSAB (*Ultra-light steel auto-body*). Este projeto teve como objetivo freiar a substituição dos aços por materiais alternativos nos automóveis, principalmente os plásticos, compósitos e ligas de alumínio, que naquela época estava se intensificando. Com isto, além de aços mais resistentes, foram propostos novos conceitos de peças e desenhos de carros. Nas suas três fases, de 1994 a 2004, o projeto ULSAB indicou a aplicação de novos aços de média a alta resistência em painéis dos carros, como os aços IF (com efeito BH ou de alta resistência) e isotrópicos, além dos aços de avançada alta resistência

mecânica - aços AHSS (aços DP, complex phase, martensíticos ou ao boro) - indicados principalmente para partes estruturais dos automóveis.

No ULSAB, os aços DP tiveram especial foco, com indicação para compor 75% da parte estrutural dos carros e de 59% nos painéis.^(5,6) Com isto, percebe-se que realmente os aços DP serão brevemente muito importantes na indústria automobilística pois têm sido indicados em novos projetos de carros de várias montadoras mundiais.^(6,7) Na indústria nacional sua utilização é ainda incipiente, participando basicamente como peças estruturais.

A Usiminas é a única siderúrgica brasileira a produzir os aços DP nas duas versões: laminados a quente e laminados a frio (nus ou galvanizados). Este trabalho dará enfoque aos aços DP laminados a frio.

3 ASPECTOS METALÚRGICOS E MECÂNICOS DOS AÇOS DUAL PHASE LAMINADOS A FRIO

Os aços *Dual Phase* (aços de dupla fase: ferríticos-martensíticos) laminados a frio, foco deste trabalho, surgiram industrialmente no Japão,⁽⁸⁾ ao final dos anos 80, na atual JFE, devido ao desenvolvimento da tecnologia do recozimento contínuo.

Os aços DP apresentam amplo espectro de propriedades mecânicas, sendo produzidos atualmente dentro da faixa de limite de resistência de 350 a 1200MPa. Isto tem sido conseguido através do controle da fração volumétrica e dureza da martensita, além do tamanho de grão e dureza da fase ferrita.^(9,10)

Estes materiais são processados nas usinas siderúrgicas, tanto na etapa de laminação a quente quanto na laminação a frio, praticamente como um aço carbono comum. A microestrutura duplex é gerada somente durante o recozimento contínuo, após laminação a frio ou imediatamente antes a aplicação do revestimento de zinco, conforme o aço seja nu ou galvanizado.

A Figura 3 mostra a microestrutura típica de um aço DP. Pode ser observada a matriz ferrítica de fina granulação (F) com “partículas” (ilhotas) de martensita (M). As ilhotas, de alta dureza, elevam a resistência mecânica dos aços DP enquanto a presença da ferrita garante a boa ductilidade ao material. O aumento da quantidade de martensita provoca, em contrapartida, queda da ductilidade dos aços DP.

O teor de carbono deve ser limitado, em função do tipo de martensita que se produz durante a tempera de formação da microestrutura duplex. Para altos teores de carbono tem-se uma martensita frágil, denominada “maclada”. Normalmente os aços DP são produzidos com teores de carbono inferiores a 0,15%, o que garante a chamada martensita em ripas, que é menos frágil que o tipo maclada e tem baixa susceptibilidade a apresentar, após deformação mecânica, vazios nas interfaces entre as ilhotas de martensita e os grãos ferríticos. Deve ser apontado que o teor de carbono presente na martensita é maior que o contido na ferrita e que também depende da temperatura de encharque no recozimento, tendendo a ser reduzido com o aumento desta temperatura.^(10,11)

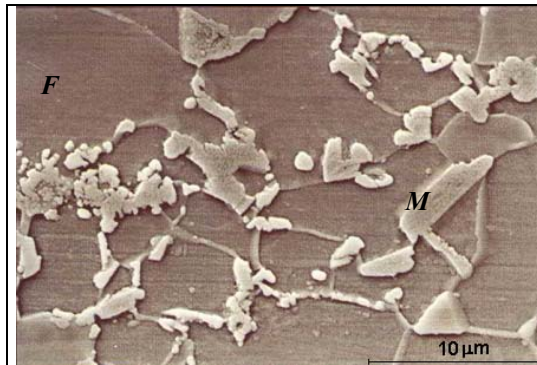


Figura 3 – Imagem por microscopia eletrônica de varredura de um aço da classe de 600 MPa de resistência (DP600).

A adição de microligantes é importante para garantir a estrutura ferrítica-martensítica dos aços DP e inibir o aparecimento de outras microestruturas na tempera da austenita (como austenita retida, perlita ou bainita), além de controlar melhor a dureza e propriedades mecânicas destes materiais.^(9,11) Com isto, a seguir serão colocados breves comentários a respeito dos elementos químicos normalmente presentes nos aços DP.

- Carbono - Este elemento determina a quantidade de austenita no reaquecimento intercrítico e por conseqüência a quantidade e dureza de martensita após a tempera. O limite de resistência dos aços DP é descrito ser proporcional à quantidade de martensita.
- Manganês - Este elemento é estabilizador de austenita, aumentando a quantidade desta fase no reaquecimento. O manganês também retarda a formação da perlita e bainita e, assim, aumenta a temperabilidade da austenita, garantindo a microestrutura duplex.
- Silício - Abaixa a solubilidade do carbono na ferrita e melhora, desta maneira, o balanço entre ductilidade e resistência mecânica.
- Cromo - Aumenta a temperabilidade da austenita.
- Vanádio - Aumenta também a temperabilidade e seus precipitados servem de núcleos para a geração da austenita no reaquecimento.
- Nióbio - Refina os grãos de ferrita e age da mesma forma do vanádio.

O projeto de liga de um aço DP depende não só das propriedades mecânicas objetivadas para o mesmo mas também da sua rota de fabricação. Assim, aços processados como não revestidos possuem composição química diferente daqueles produzidos como galvanizados a quente ou daqueles elaborados como laminados a quente.⁽¹¹⁻¹⁴⁾

Os aços DP caracterizam-se pelo seu baixo limite de escoamento, alto limite de resistência e, conseqüentemente, baixa razão elástica. Isto garante uma boa capacidade de estiramento. Outras características interessantes dos aços DP para serem aplicados em veículos são listadas a seguir.^(11,12)

- Possuem melhor combinação de alta resistência com adequada ductilidade quando comparados aos tradicionais aços HSLA (aços de alta resistência e baixa liga) e aços HSS (aços de alta resistência endurecidos por solução sólida). Este fato resulta não só em excelente capacidade de suportar estiramento mas também na absorção de impacto, propriedades muito atrativas para peças estruturais e painéis dos veículos automotores.

- Não exibem limite de escoamento descontínuo, e portanto não têm formação de bandas de Luders, apresentando bom aspecto superficial após operações de estampagem/estiramento.
- Possuem alto coeficiente de encruamento (valor n), que indica boa conformabilidade e ganho efetivo de resistência para as peças após conformação (“efeito WH”).
- No entanto, têm baixo coeficiente de anisotropia planar, o que significa que não podem ser aplicados em peças com requisito de estampabilidade profunda.
- Por outro lado, são envelhecíveis por deformação mecânica a altas temperaturas, ou seja, apresentam “efeito BH”. Com isto ganham resistência mecânica após cura de pintura. Isto torna factível a aplicação destes aços em painéis externos onde se deseja resistência à indentação. Neste aspecto, os aços DP têm um comportamento interessante e dissimilar dos aços microligados, que é de aumentar o efeito BH com o aumento da pré-deformação.

A Figura 5 mostra algumas partes de um veículo nas quais há potencial de aplicação dos aços DP. Pode ser visto que são peças de reforço e vigas estruturais. No entanto, tem havido também indicação para peças de painéis de fechamento, como em tampas dianteiras/traseiras e portas. Portanto, há possibilidade de intensa utilização destes materiais nos automóveis.

Pelo que foi exposto até aqui, surge uma pergunta: diante de tantas vantagens, por que os aços DP, principalmente os laminados a frio, não estão ainda sendo maciçamente aplicados na indústria automotiva? Esta questão está tratada no próximo item.

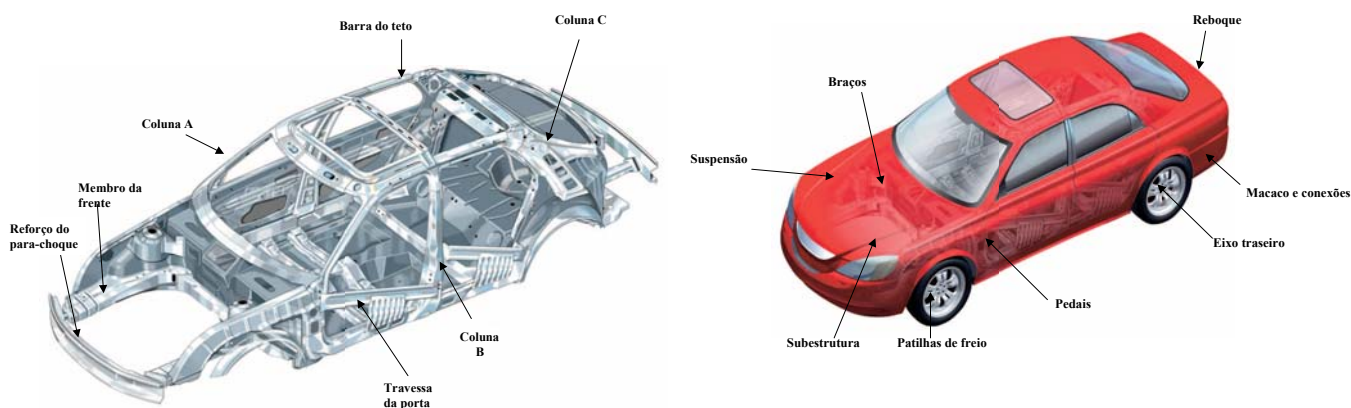


Figura 5 – Potencial de aplicação de aços DP em automóvel.⁽¹²⁾

4 ALGUMAS QUESTÕES A RESOLVER NA APLICAÇÃO DE AÇOS DP EM CARROS^(11,12)

4.1 Retorno Elástico

O retorno elástico ou “efeito mola” tem origem na recuperação elástica de dimensões ocorrida após conformação. Quanto maior a resistência do aço, mais intenso é este efeito. Assim, os aços DP com maior resistência têm grande propensão à apresentar variação dimensional, empeno ou distorção angular por retorno elástico após prensagem de peças confeccionadas com os mesmos. Para

estes materiais, as matrizes das prensas de conformação devem ser projetadas prevendo-se este fenômeno. Assim, deve-se aplicar uma sobredeformação ou então usar recursos alternativos como a colocação de enrijecedores (soldados ou cravados mecanicamente) nas peças conformadas, de maneira a se obter boa condição dimensional para as mesmas.

4.2 Capacidade de Carregamento das Prensas

O valor da força aplicada para a conformação das peças nas prensas depende da resistência mecânica do aço. Portanto, os aços DP, principalmente os de maior resistência, exigem prensas mais robustas, de maior capacidade de aplicação de carga.

4.3 Desgaste de Matrizes

Como há maiores forças aplicadas nas prensas por ocasião do processamento dos aços DP, principalmente os de mais alta resistência mecânica, tem-se, como consequência, maior desgaste das matrizes e do ferramental que fica em contato atritante com as peças. Assim, há a necessidade de se prover as matrizes “convencionais” com materiais mais resistentes e duros de modo a prolongar sua vida útil.

4.4 Flangeabilidade

As chamadas operações de flangeamento são normalmente empregadas para aumentar a resistência mecânica e rigidez dos painéis internos dos carros ou, então, para promover a abertura de vazios (como na região das janelas ou de furos nos painéis). No flangeamento, seja sob contração, estiramento ou expansão, a borda de corte é bastante solicitada mecanicamente. Assim, para algumas peças estruturais e partes da suspensão dos automóveis, os aços DP devem apresentar boa flangeabilidade e adequada capacidade de expansão de furo. Isto deve ser garantido pela adequação da microestrutura e controle de forma das inclusões nos aços DP.

4.5 Soldabilidade

A soldabilidade dos aços DP deve ser minuciosamente avaliada em razão da composição química carregada destes aços (“maior carbono equivalente”) em relação aos aços carbono comuns, HSLA ou HSS. A soldabilidade deve ser investigada principalmente nos processos de união usados na indústria automotiva que envolvem altas taxas de resfriamento da região de união, listados a seguir.

- Soldagem a pontos - Este processo é empregado intensivamente na união das partes da carroceria dos veículos automotores.
- Soldagem por indução com alta frequência - Este processo é aplicado na fabricação de tubos usados na estrutura dos bancos, partes de pára-choques, travessas e peças de reforço, algumas produzidas por *hidroforming*.
- Soldagem a Laser - Este processo é especialmente empregado para a confecção de painéis do tipo *tailored-blanks*.

5 AÇOS DP LAMINADOS A FRIO DA USIMINAS - NUS OU REVESTIDOS

A Usiminas produz aços *Dual Phase* processados a frio em quatro níveis de limite de resistência mecânica (DP450, DP600, DP800 e DP1000), como não revestidos, e em três níveis de resistência (DP450, DP600 e DP800), como galvanizados a quente. Estes últimos podem ser fabricados na condição de GI (revestimento a base de zinco puro, com “cristais minimizados”) ou GA (revestimento a base de ligas de Zn-Fe). A Tabela 1 informa as propriedades mecânicas dos aços DP da Usiminas. Pode ser visto que cobre-se um espectro de resistência de 450 a 1000MPa. Na tabela 1 são dados, além das propriedades usuais de tração: limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e alongamento (AL), o coeficiente de encruamento n (para duas faixas de quantidade de deformação) e o índice mínimo de ganho de resistência por efeito BH.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas de tração especificadas para os aços *Dual Phase* da Usiminas.

Aço	Propriedades					
	LE (MPa)	LR _{min} (MPa)	Al (%)	n (10-20%)	n (4-6%)	BH _{min} ^(*) (MPa)
Usi DP450	250-330	450	27	0,16	NA	30
Usi DP600	305-450	590	20	0,14	0,18	
Usi DP800	380-580	780	15	0,11	0,15	
Usi DP1000	500-885	980	8	NA	0,08	
Usigal DP450	260-340	450	26	0,20	0,16	
Usigal DP600	320-470	590	19	0,18	0,14	
Usigal DP800	420-600	780	13	0,15	0,11	

(*): condições de cura: 170°C/20min

Os aços *Dual Phase* não revestidos começaram a ser produzidos industrialmente na Usiminas a partir de 2002, sob marcas comerciais Usi DP600 e Usi DP800.

Em 2003 foi findado o desenvolvimento do aço DP600 revestido a quente, comercializado sob as marcas Usigal-GI DP600 e Usigal-GA DP600. Em 2005 já se fornecia o aço DP da classe de 800 MPa revestido a quente (Usigal-GI DP800 e Usigal-GA DP800). Neste ano de 2008, está sendo encerrado o desenvolvimento dos aços DP450 e DP 1000 não revestidos (Usi DP450 e Usi DP1000) e o aço DP450 revestido a quente (Usigal-GI DP450 e Usigal-GA DP450).

Atualmente ainda existe um número limitado de montadoras e autopeças nacionais aplicando aços DP em alguns modelos de veículos de passeio. No entanto, há um interesse claro de outras fábricas de carro, que atualmente vêm avaliando a utilização destes aços em seus novos modelos. Cabe também comentar que já existe demanda também nos segmentos de implementos rodoviários e industrial.

Em relação à quantidade de aços DP fornecida para o setor automotivo pela Usiminas, atualmente tem-se um valor não muito expressivo se comparado ao volume de outros aços laminados a frio. No entanto, prevê-se uma elevação acentuada do consumo de *Dual Phase* em curto/médio prazo. Com isto, existe por parte da Usiminas a expectativa de crescimento destacado de fornecimento, que deverá triplicar daqui a 3 anos e ficará 7 vezes maior em 6 anos. Existe a tendência de demanda quase que exclusiva por aços revestidos.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

Os aços *Dual Phase* laminados a frio têm demonstrado grande potencial de aplicação em veículos automotores. Isto ocorre em razão destes materiais apresentarem amplo espectro de resistência mecânica, exibirem efeitos BH e WH, terem elevada ductilidade e capacidade de absorção de impacto e não apresentarem escoamento descontínuo. Com isto, os mesmos conseguem atender aos vários requisitos impostos aos materiais destinados aos modernos veículos, que são:

- proporcionar redução de peso,
- ter boa conformabilidade,
- aumentar o nível de segurança em colisões,
- apresentar baixo preço,
- ser reciclável, e
- possuir boas características de trabalhabilidade (corte/flangeabilidade, soldabilidade e conformabilidade).

A Usiminas produz industrialmente os aços DP processados a frio desde 2002 e há previsões que o emprego destes materiais seja bastante incrementado em curto/médio prazo, principalmente nas versões galvanizados a quente. Isto ocorrerá quando a indústria automotiva nacional tiver suas linhas de produção adaptadas aos aços *Dual Phase*, estando plenamente capacitada a processá-los mecanicamente e a uni-los sob condições adequadas.

REFERÊNCIAS

- 1 em meio eletrônico: Bells, M. - Automobile history , Disponível em: <http://inventors.about.com/library/inventors/blcar.htm>, acesso em: 11 de fevereiro de 2008.
- 2 em meio eletrônico: Wikipedia - Automobile, Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile>., acesso em: 18 de fevereiro de 2008.
- 3 em meio eletrônico: Bortoff, W. W. - What Was The First Car?, Disponível em: <http://inventors.about.com/library/inventors/blcar.htm>, acesso em: 26 de março de 2008.
- 4 ROBERTS, W. L. - History of rolling - IN: Cold rolling of steels, New York, Marcel Dekker IC, ch 1, p.: 1-22, 1978.
- 5 JAMBOR, A.; BEYER , M. - New car and new materials, Materials & Design, v. 18, n. 4/6, p.: 12-17, 1997.
- 6 TAKAHASHI, M. - Development of high steels for automobiles, Nippon Steels Technical Report, n. 88, p.: 2-7, 2003.
- 7 TAKITA, M.; OSHASHI, H. - Application of High-strength steel sheets for automobiles in Japan, La Revue de Metalurgie, n. 10, p.899-909, 2001.
- 8 JITSUKAWA, M.; HOSOYA, Y. - NKK's State-of-art Flat-rolled Products Developed in last Decade, NKK Technical Review, No 88, p.: 46-56, 2003.
- 9 CHANG, P. H.; PREBAN, A. G. - The effect of ferrite grain size and martensite volume fraction on the tensile properties of Dual Phase steel, Acta Metallurgica, v. 33, n. 5, p. 897-903, 1985.
- 10 HASEGAWA, K.; KAWAMURA, K. URABE, T. ; HOSOYA, Y. - Effects of microstructure on stretch-formability of 980MPa grade cold-rolled ultra high strength steel sheets, ISIJ International, v. 44, n. 3, p.603-609, 2004.

- 11 KRUPITZER, R. P.; URBAN, D. M.; WITMER, A. D. - Design and Manufacturing Vehicles AdvanHigh-Strength Steels, Galvatech Conference Proceedings, p.: 31-50, 2004.
- 12 TSIPOURIDIS, P.; WERNER, E.; KREMPASZKY, C.; TRAGL, E. - Formability of High Dual-phase steels, Steel Research International, n. 9-10, p.: 654-667, 2006.
- 13 Hashimoto, S. - Effect of niobium on Zn-coated dual phase steel sheet, Materials Science Forum, v. 539-543, pp.: 4411-4416, 2007.
- 14 FONSECA, F. A. V.; COSTA, F. S.; TAISS, E. J. M.; LIMA, H. R. - Aço Bifásico processado via linha de galvanização contínua, Revisão e Estágio Atual de Produção na Usiminas/Unigal, Contribuição técnica ao 42º Seminário de Laminados e Revestidos, Santos SP, p.: 1-10, 2005.