

## AÇOS INOXIDÁVEIS OUTOKUMPU – OS ÚLTIMOS DESENVOLVIMENTOS\*

Rodrigo Faveret Signorelli<sup>1</sup>

### Resumo

O desenvolvimento das famílias de aço inoxidável ocorre ao longo do tempo de acordo com as necessidades apresentadas pelos usuários. As usinas siderúrgicas, em geral, coletam informações de mercado para entender quais produtos deverão ser lançados nos próximos anos antes de iniciar novos desenvolvimentos. Utilizando-se desta ferramenta, a Outokumpu abriu três frentes de pesquisa nos últimos anos em busca do desenvolvimento de novas ligas. A primeira linha de pesquisa trata de um aço ferrítico, denominado 4622, que possui alto teor de cromo, cuja resistência à corrosão é equivalente à resistência à corrosão do 304. A segunda linha de pesquisa contempla um aço austenítico que se assemelha ao 316L, denominado 316<sup>plus</sup>, porém com custo reduzido. Por último, a Outokumpu, ao notar que aços Duplex raramente eram aplicados em equipamentos e máquinas que dependiam de facilidade de conformação do material, iniciou o desenvolvimento da família FDX. Esta família é composta por aços inoxidáveis duplex com alongamento elevado, que os aproxima dos aços inoxidáveis austeníticos. O objetivo deste trabalho é apresentar estas três novidades recentemente lançadas pela Outokumpu ao mercado.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis duplex; Aço inoxidável ferrítico 4622; Aço inoxidável austenítico 316plus.

### OUTOKUMPU STAINLESS STEELS – RECENT DEVELOPMENTS

#### Abstract

The development of stainless steel families occurs over time according to the needs expressed by the end user. In general, steel mills collect market information to understand which products should be launched in the coming years before starting new developments. Making use of this tool, Outokumpu opened three research fronts in recent years in search of the development of new alloys. The first line of research is a ferritic steel, 4622, with high chromium content and a corrosion resistance equivalent to the corrosion resistance of 304 stainless steel. The second line of research focuses on an austenitic stainless steel similar to 316L, but with reduced cost. Finally, Outokumpu noticed that Duplex steels were rarely applied in equipment and machinery highly dependent on formability of the material, therefore developed the FDX family. This family consists of duplex stainless steels with high elongation, very close to those of austenitic stainless steels. The objective of this paper is to present three new recently launched grades by Outokumpu.

**Keywords:** Duplex stainless steels; Ferritic stainless steel 4622; Austenitic stainless steel 316plus.

<sup>1</sup> Engenheiro de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Head of Market Development, Outokumpu, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os últimos desenvolvimentos de aços inoxidáveis realizados pelos diversos fabricantes ao redor do mundo realizam-se em ligas nobres, sempre buscando aumento de vida útil de equipamentos, segurança, otimização de projetos, entre outros.

Após a crise de 2008, uma forte onda de redução de custos atingiu o mercado, pressionando preços e volumes de itens considerados custosos, como os aços inoxidáveis, para baixo. Desde então, as empresas que mantêm sua linha de desenvolvimento de novos produtos em linha com as demandas do mercado, passaram a pesquisar opções de aços inoxidáveis que tragam ganhos práticos aos usuários, como por exemplo, o aumento de vida útil e que, acima de tudo, permitam redução de custo.

Acompanhando esta necessidade do mercado, a Outokumpu iniciou três frentes de pesquisa diferentes. A primeira linha de pesquisa trata de um AIF, denominado 4622, que possui alto teor de cromo, cuja resistência à corrosão é equivalente à resistência à corrosão do AISI 304. A segunda linha de pesquisa contempla um AIA que se assemelha ao AISI 316L, denominado 316plus, porém com custo reduzido. Por último, a Outokumpu, ao notar que aços Duplex raramente eram aplicados em equipamentos e máquinas que dependiam de facilidade de conformação do material, iniciou o desenvolvimento da família FDX. Esta família é composta por AIDs com alongamento elevado, que os aproxima dos aços AIAs.

O objetivo deste trabalho é apresentar estas três novidades recentemente lançadas pela Outokumpu.

## 2 AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO - 4622

A família de AIFs tornou-se mais conhecida com o aumento considerável no preço do níquel. Por se tratarem de aços que não possuem níquel em sua composição, os AIFs costumam ter preços mais baixos e mais estáveis que os AIAs. Desta maneira, nos últimos anos, a participação dos AIAs tem caído gradativamente, perdendo espaço tanto para os AIFs como os austeníticos ligados ao manganês.

O Outokumpu 4622 é um AIF, pois possui estrutura ferrítica e não contém níquel em sua composição. O principal objetivo no desenvolvimento desta liga era: desenvolver um aço que pudesse substituir o 304L na maioria de suas aplicações, que tivesse um custo mais baixo, atendendo à grande demanda recente do mercado.

### 2.1 Características - 4622

Tabela 1 – Composição química do 4622

	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Estabilizantes</b>
<b>Outokumpu 4622</b>	0,02	0,02	21,00	-	-	0,40	Ti + Nb

Tabela 2 – Propriedades mecânicas típicas do 4622

	<b>Limite de escoamento</b> Rp0.2, MPa	<b>Limite de resistência</b> Rm, MPa	<b>Alongamento</b> %	<b>Dureza</b> HB30
<b>Outokumpu 4622</b>	360	470	30	162

A observação da tabela 1, sem que se conheçam resultados de testes de corrosão de qualquer natureza, leva a crer que o material 4622 tenha desempenho superior ao 304L em ensaios decorrosão onde o teor de Cromo elevado leva a um bom

desempenho. Isto se deve ao fato do 4622 possuir 21% de Cr, em comparação com os 18% do 304L. De fato, os valores aqui explicitados são nominais, podendo ter variação de acordo com a norma de fabricação utilizada por cada uma das usinas. Novamente analisando a tabela 1, pode-se inferir que a soldabilidade do aço 4622 é similar a de aços já conhecidos como 439 e 441. Para compensar o teor de Cromo elevado do metal de base, sugere-se a utilização de consumíveis mais nobres como o do 316L ou até mesmo o do 309.

## 2.2 Discussão - 4622

Para mostrar que a expectativa se torna realidade em testes práticos, foram realizados ensaios de névoa salina com ambos os materiais simultaneamente.



**Figura 1** – Amostras de 4622 antes do ensaio em névoa salina



**Figura 2** – Amostras de 4622 após ensaio em névoa salina



**Figura 3** – Amostras de 304L após ensaio em névoa salina

Os ensaios foram realizados com spray de 5% de NaCl durante 5 minutos, seguido de 55 minutos de secagem a 35°C com teor de umidade de 70%.

A inspeção visual das amostras de 4622 e de 304L permitem afirmar que em meios onde o principal agente causador de corrosão seja o cloreto, o 4622 apresentará um desempenho superior.

Desta maneira, o principal objetivo da Outokumpu ao desenvolver este material foi atingido, uma vez que este se apresenta como opção ao 304L, cuja resistência à corrosão é inferior no meio em questão e possui custo mais alto devido ao teor de níquel entre 8 e 10%.

Adicionalmente à discussão em torno do teor de Cromo, que sugere a maior resistência à corrosão, outros elementos mostrados na tabela 1 podem ser discutidos. É o caso de, C, Nb, Ti e Cu.

Os três primeiros elementos podem ser analisados sob a mesma óptica: soldabilidade. É de conhecimento geral que aços inoxidáveis com baixo teor de carbono possuem soldabilidade melhorada. Além do teor de carbono controlado na aciaria, a adição de Nb e Ti como elementos estabilizantes é largamente utilizada, tanto em AIAs, como 321 e 347, bem como em AIFs, como 439, 441 e 444.

Já a adição do cobre tem como principal benefício o aumento do alongamento, o que permite uma melhor trabalhabilidade e, conseqüentemente, estampagem profunda facilitada.

A tabela 3 e a figura 4 a seguir mostram resultados de testes obtidos em ensaios comuns, utilizados para a análise de facilidade de conformação de aços inoxidáveis.

**Tabela 3** – Resultados obtidos em ensaios de conformação do 4622 e do 304 – Dados típicos para chapa de 0,6mm de espessura

	<b>R-value</b>	<b>LDR</b>	<b>Erichsen</b>
<b>Outokumpu 4622</b>	2,0	2,3	8,8
<b>304</b>	1,2	2,1	12,4



Teste Swift-cup (LDR)



Teste Erichsen

**Figura 4** – resultados de ensaios de facilidade de conformação do 4622

Pode-se afirmar que materiais que possuem um “R-value” e “LDR” mais elevados, são considerados materiais adequados para estampagem profunda. Sendo assim, o 4622 apresenta melhor desempenho em estampagem profunda.

O valor obtido no ensaio de Erichsen mostra que o 304 possui melhor desempenho em estiramento, ou seja, quando além da deformação plástica causada pela conformação, existe redução da espessura de parede [1,2].

### 3 AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO – 316<sup>plus</sup>

O AIA 316L é uma opção bastante conhecida no mercado, em aplicações nas quais o 304L não atende os requisitos de corrosão. Sua composição química com 2,0% de molibdênio o torna resistente à corrosão na grande maioria dos meios, o que faz com que seja aplicado em larga escala na indústria atualmente. Ainda sobre o 316L, podemos afirmar que possui uma trabalhabilidade adequada e fácil soldabilidade. Seus principais pontos negativos são: teor de níquel próximo a 10% e teor de molibdênio de 2,0%. Isto torna o 316L um material custoso e cujo preço é volátil, à medida que o preço dos elementos de liga varia diariamente.

Considerando este cenário, a Outokumpu desenvolveu recentemente a liga 316<sup>plus</sup>. Trata-se de um material alternativo ao 316L com composição química bem similar, resistência à corrosão superior, bem como resistência mecânica também superior.

#### 3.1 Características - 316<sup>plus</sup>

Tabela 4 – Composição química do 316<sup>plus</sup>

	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>N</b>
<b>Outokumpu 316<sup>plus</sup></b>	0,02	20,30	0,70	8,60	-	0,20
<b>316L</b>	0,02	17,00	2,10	10,00	-	-

Tabela 5 – Propriedades mecânicas típicas do 316<sup>plus</sup>

	<b>Limite de escoamento Rp0.2,MPa</b>	<b>Limite de resistência Rm,MPa</b>	<b>Alongamento %</b>	<b>Dureza HB30</b>
<b>Outokumpu 316<sup>plus</sup></b>	390	710	43	165
<b>316L</b>	280	520	55	165

A partir da análise da tabela 4 pode-se notar que o 316<sup>plus</sup> é material austenítico bem similar ao 316L. Seu teor de cromo elevado traz resistência à corrosão mais elevada, assim como a adição de nitrogênio, ausente na versão comum do 316L. Ambas as adições, compensam a redução de molibdênio de 2,00% para 0,70%. Desta maneira, a resistência à corrosão do 316<sup>plus</sup> será superior à do 316L, mesmo com a redução no teor de molibdênio.

Por fim, a redução no teor de níquel em 1,4% reduz o custo da liga, mas não prejudica sua soldabilidade, alongamento, ou qualquer outra propriedade importante para a fabricação e operação do produto.

No que diz respeito à tabela 5, nota-se o grande incremento em propriedades mecânicas proveniente da adição de nitrogênio. Ainda considerando este ganho de propriedade mecânica, vale ressaltar que o consumível de soldagem escolhido deve ser adequado, uma vez que o processo de seleção de materiais considera as propriedades da solda como fatores limitantes de projeto. Desta maneira, sugere-se a utilização de consumíveis como, por exemplo, o 316LMn que possui nitrogênio em sua composição, o que permite a obtenção de valores mais elevados após a soldagem.

#### 3.2 Discussão - 316<sup>plus</sup>

Assim como no desenvolvimento do 4622, o desenvolvimento do 316<sup>plus</sup> propõe a redução de custo de um aço inoxidável largamente utilizado como 316L, sem

prejudicar seu desempenho. Desta maneira, novamente ensaios em névoa salina podem identificar a diferença de desempenho entre o 316<sup>plus</sup> e o 316L.



Figura 5 – Ensaios de névoa salina do 316<sup>plus</sup> e 316L

Os ensaios foram realizados com spray de 5% de NaCl durante 5 minutos, seguido de 55 minutos de secagem a 35°C com teor de umidade de 70%.

A partir da análise da figura 5 nota-se que o desempenho do 316<sup>plus</sup> é superior ao desempenho do 316L, pois sua superfície em qualquer um dos estágios, seja um, três ou sete dias, aparenta menos manchas e, conseqüentemente, processo de corrosão menos intenso.

A tabela 6 a seguir mostra os resultados de testes obtidos em ensaios comuns, utilizados para a análise de facilidade de conformação de aços inoxidáveis.

Tabela 6 – Resultados obtidos em ensaios de conformação do 316L e do 316<sup>plus</sup> – Dados típicos para chapa de 1,5mm de espessura

Chapa com 1,5mm e acabamento 2B	R-value	Erichsen
316 <sup>plus</sup>	2,18	11,8
316L	2,14	12,3

Os valores obtidos nos ensaios de conformação mostram que o comportamento de ambos os materiais é bem similar, sinalizando que não é necessária grande alteração nos parâmetros de processo de conformação de chapas.

### 3.3 Aplicações - 316<sup>plus</sup>

A principal aplicação almejada para o 316<sup>plus</sup>, substituindo o 316L, são tanques de armazenamento e vasos de pressão. Isso se deve ao fato de sua composição permitir que o material seja especificado em qualquer aplicação na qual o 316L, normalmente, seria selecionado, com a vantagem do aumento de resistência mecânica.

Este aumento de resistência mecânica permite a redução de espessura de parede, o que possibilita a fabricação de tanques e vasos mais leves, com custo de matéria-prima reduzido e menor tempo de soldagem.

A figura 6 abaixo mostra um comparativo de um tanque fabricado com 316<sup>plus</sup> e com 316L. Nota-se a redução do consumo de material, conseqüência das melhores propriedades mecânicas do 316<sup>plus</sup> [3,4].

Exemplo 1:

- Diâmetro de 10 m, 20 m de altura
- Comparação de 316L vs. 316<sup>plus</sup>
- Economia de 8% na compra de material

Exemplo 2:

- Diâmetro de 10 m, 25 m de altura
- Comparação de 316L vs. 316<sup>plus</sup>
- Economia de 11% na compra de material



Figura 6 – Dois exemplos de tanques fabricados com 316<sup>plus</sup> e 316

## 4 FAMÍLIA FDX

Os AIDs, até o momento, compreendem uma família de aços inoxidáveis que contém os Lean Duplex, Duplex e Super Duplex. Todos os materiais presentes nesta família possuem tanto estrutura austenítica, quanto estrutura ferrítica. A diferença entre as sub-categorias – lean, duplex e super – deve-se ao PRE (Equivalente de Resistência a Pite) de cada um dos materiais.

Esta família, aos poucos vai encontrando seu espaço, e a cada dia que passa mais aplicações fazem bom uso de suas propriedades. Entretanto, aplicações nas quais a conformação pode ser um fator limitante, como na carcaça de bombas, trocadores de calor de placa, entre outras, os AIDs eram deixados de fora pois seu baixo alongamento, associado a um elevado limite de escoamento tornavam muito difícil a sua aplicação.

Baseada nesta potencial janela de aplicações dos AIDs, a Outokumpu iniciou o desenvolvimento da família FDX. A proposta é: criação de novos AIDs, que apresentem as vantagens dos AIDs existentes, principalmente a elevada resistência à corrosão, porém, que possuem também facilidade de conformação.

Os dois primeiros integrantes desta família são o FDX 25<sup>TM</sup> e o FDX 27<sup>TM</sup>.

### 4.1 Características – FDX

Tabela 7 – Composição química do FDX 25<sup>TM</sup> e do FDX 27<sup>TM</sup>

	C	Cr	Mo	Ni	N	Mn
<b>FDX 25<sup>TM</sup></b>	< 0,05	19,00 – 20,50	0,10 – 0,60	0,80 – 1,50	0,16 – 0,26	2,00 – 4,00
<b>FDX 27<sup>TM</sup></b>	< 0,05	19,00 – 22,00	0,60 – 1,40	2,00 – 4,00	0,14 – 0,24	< 2,50

Tabela 8 – Propriedades mecânicas do FDX 25<sup>TM</sup> e do FDX 27<sup>TM</sup>. Valores típicos.

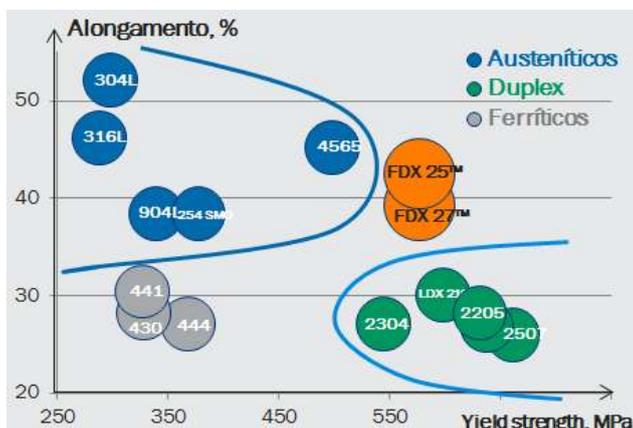
	Limite de escoamento Rp0.2, MPa	Limite de resistência Rm, MPa	Alongamento %
<b>FDX 25<sup>TM</sup></b>	500	700	40
<b>FDX 27<sup>TM</sup></b>	500	700	35

As tabelas 7 e 8 mostram a composição química de cada um dos materiais, bem como suas propriedades mecânicas. Profissionais familiarizados com materiais pertencentes à família Duplex perceberão que, a princípio, não existem grandes

alterações no FDX 25™ ou FDX 27™, exceto pelo elevado valor de Alongamento. A tabela 8 mostra o mínimo valor de alongamento de acordo com a ASTM A 240.

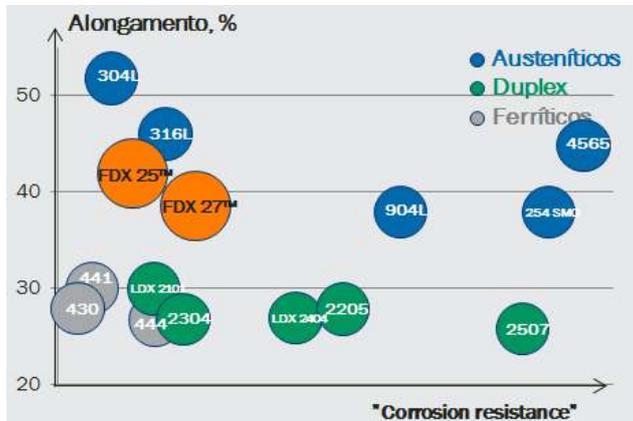
### 4.2 Discussão – FDX

Os valores típicos de alongamento encontrados nos ensaios realizados no FDX 25™ e no FDX 27™ são comparados na figura 7.



**Figura 7** – Comparativo de alongamento A50,% e limite de escoamento de diversos aços inoxidáveis.

Analisando a figura 7, podemos entender claramente como os materiais da família FDX se diferenciam das demais ligas Duplex. Apesar de um elevado limite de escoamento, possuem alongamento comparável aos AIAs.



**Figura 8** – Comparativo de alongamento A50,% e resistência à corrosão de diversos aços inoxidáveis.

A partir da figura 8 pode-se extrair a informação do posicionamento dos novos materiais FDX 25™ e FDX 27™ em relação aos outros aços inoxidáveis, no que diz respeito à resistência à corrosão.

**Tabela 9** – TCP conforme ASTM G 150: 304L, 316L, FDX 25™ e FDX 27™.

Liga	TCP ASTM G 150
304L	< 10
316L	20
FDX 25™	14
FDX 27™	25

A partir da análise da figura 8 e da tabela 9, podemos afirmar que o FDX 25<sup>TM</sup> é candidato à substituição do 304L em aplicações onde o mecanismo de corrosão principal seja pite. Da mesma maneira, pode-se inferir que o FDX 27<sup>TM</sup> é candidato à substituição do 316L. Outras análises se fazem necessárias, caso o mecanismo de corrosão seja diferente.

Em ambos os casos, a substituição dos AIAs é feita de maneira que o resultado é a seleção de uma liga com resistência mecânica mais elevada, o que permite a redução da espessura das peças fabricadas [5-7].

## 5 CONCLUSÃO

Os novos aços inoxidáveis apresentados neste trabalho tem grande importância para o desenvolvimento desta indústria mundialmente. Uma vez que desenvolvemos novas ligas e damos continuidade a evolução dos aços inoxidáveis sem afetar o custo final dos usuários, contribuimos para o crescimento do mercado como um todo.

- O 4622 se mostra uma ótima opção para aplicações nas quais hoje o 304L é o material selecionado, pois possui resistência à corrosão superior ao 304L, boa trabalhabilidade e custo mais baixo. Suas aplicações poderão ser diversas, uma vez que o 304L é usado de maneira generalizada.

- O 316<sup>plus</sup> é uma alternativa ao 316L, muito utilizado hoje em dia. Existem diversas aplicações em que o 316L é necessário por sua resistência à corrosão, porém seu custo e até mesmo sua baixa resistência mecânica fazem com que os equipamentos e tanques tenham preços elevados. O 316<sup>plus</sup>, com sua elevada resistência mecânica e otimização dos elementos de liga com consequente redução de custo, se apresenta como uma boa opção.

- A família FDX abre novas oportunidades para aplicação de materiais Duplex. Tanto o FDX 25<sup>TM</sup> como o FDX 27<sup>TM</sup> possuem valores de alongamento similares aos de AIAs, além dos outros benefícios dos AIDs já conhecidos, como: elevada resistência à corrosão sob tensão, elevada resistência mecânica e elevada resistência à fadiga. Sugere-se a substituição do 304L por FDX 25<sup>TM</sup> em aplicações onde a elevada resistência mecânica do FDX 25<sup>TM</sup> seja interessante. Da mesma maneira, sugere-se a substituição do 316L pelo FDX 27<sup>TM</sup> em aplicações onde a elevada resistência mecânica do FDX 27<sup>TM</sup> seja benéfica.

## REFERÊNCIAS

- 1 Apresentação interna - 4622
- 2 Catálogo – Outokumpu 4622 – EN 1.4622
- 3 Apresentação interna - 316<sup>plus</sup>
- 4 Catálogo – Outokumpu 316<sup>plus</sup> – EN 1.4420 – UNS S 31655
- 5 Apresentação interna – Família FDX
- 6 Catálogo – Outokumpu FDX 27<sup>TM</sup> – ASTM FDX 27 – UNS S 82031
- 7 Catálogo – Outokumpu FDX 25<sup>TM</sup> – ASTM FDX 25 – UNS S 82012