

# Novo Front da Siderurgia: Ligas com Alta Entropia



**ANTONIO AUGUSTO GORNI**

agorni@iron.com.br  
www.gorni.eng.br

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1981); Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da USP (1990); Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2001); Especialista em Laminação a Quente. Autor de mais de 200 trabalhos técnicos nas áreas de laminação a quente, desenvolvimento de produtos planos de aço, simulação matemática, tratamento térmico e aciaria.

A busca por materiais cada vez mais eficientes, particularmente para as aplicações automotivas, continua derrubando velhos paradigmas metalúrgicos. Até o momento, a grande maioria das ligas metálicas para uso comercial é constituída por um elemento principal - que, no caso dos aços, é o ferro - e por outros elementos coadjuvantes. Este procedimento permite obter ligas com propriedades tecnológicas adequadas, tanto do ponto de vista da resistência mecânica como da ductilidade.

Essa abordagem, apesar de bastante eficaz, geralmente impõe um balanceamento entre resistência mecânica e ductilidade. Ou seja, ao se modificar a liga para se melhorar uma dessas propriedades, fatalmente a outra será prejudicada. A busca por um balanceamento mais flexível entre essas duas propriedades conflitantes vem promovendo um intenso trabalho de desenvolvimento que, no caso dos aços, levou à concepção de produtos cada vez mais sofisticados, como os aços avançados com alta resistência mecânica (AHSS, Advanced High Strength Steels).

Mas mesmo esses notáveis progressos conseguidos nas últimas décadas não têm sido suficientes para bloquear o avanço de materiais alternativos, como alumínio, magnésio e polímeros, nas aplicações tradicionais do aço. Essas novas opções vêm se impondo de forma lenta mas inexorável, especialmente na área automotiva. A metalurgia dos aços precisa continuar avançando para defender sua posição.

No presente round a abordagem adotada foi radical: desenvolver ligas onde não há um elemento principal, mas sim cinco ou mais diferentes metais com participações similares. Os átomos de todos esses elementos estão espalhados pelos reticulados cristalinos encontrados nesses materiais de forma aleatória, gerando maior grau de desordem - e, por esse motivo, eles são

formalmente designados como sendo ligas com alta entropia. Uma vez que essa desordem impede que defeitos cristalinos, como discordâncias, migrem com facilidade pelo reticulado, esses novos materiais apresentam alta resistência mecânica - e infelizmente, pelo mesmo motivo, são muito frágeis, o que impede que eles possam ser usados, por exemplo, na fabricação de chapas para estampagem.

Mas, recentemente, pesquisadores do Max-Planck-Institut für Eisenforschung (Instituto Max Planck para Pesquisa Siderúrgica), na Alemanha, encontraram uma forma de conciliar alta resistência mecânica e boa ductilidade nas ligas com alta entropia. O segredo é fazer com que ocorra alteração de uma estrutura cristalina para outra quando essas ligas forem deformadas plasticamente, da mesma forma que ocorre nos aços AHSS. Dessa maneira, parte da energia mecânica associada à deformação é absorvida de forma relativamente inofensiva, em vez de contribuir para desagregar o material. Tal característica foi conseguida pela primeira vez numa liga com alta entropia contendo 50% de ferro, 30% de manganês, 10% de cobalto e 10% de cromo, onde coexistem duas estruturas cristalinas, sendo que uma pode se transformar na outra quando o material sofre deformação, contribuindo para elevar a ductilidade do material.

Os estudos também indicaram que algumas das ligas de alta entropia apresentam razões entre resistência mecânica e peso consideravelmente melhores do que as verificadas nos materiais tradicionais, bem como melhor tenacidade e resistência à corrosão e oxidação. Ainda há muito a ser estudado sobre esses novos materiais, bem como desenvolver processos econômicos e eficazes para sua fabricação - mas, sem dúvida, trata-se de um desenvolvimento disruptivo que poderá revolucionar a Metalurgia tal como a conhecemos. 