

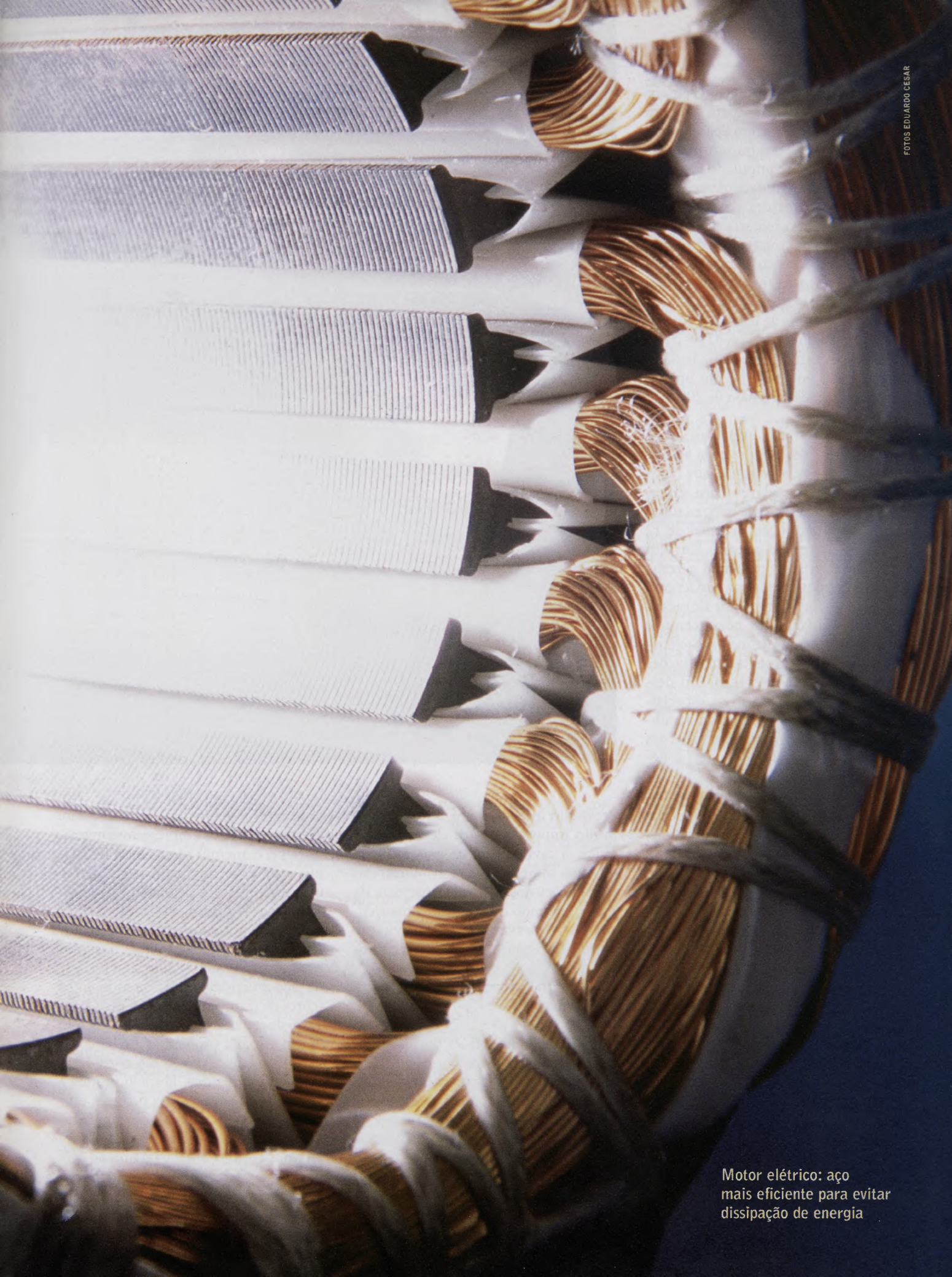
Inovações nos aços

Pesquisadores desenvolvem materiais avançados com melhores propriedades elétricas e mais resistentes à corrosão

YURI VASCONCELOS

O aço está ganhando inovações que vão deixá-lo mais eficiente. As novidades tecnológicas propostas para essa tradicional família de materiais, fundamental para a fabricação de um amplo leque de produtos industriais – de facas e garfos até motores e próteses ósseas –, surgiram de um extenso estudo de um grupo de pesquisadores paulistas que se dedica à pesquisa e ao aperfeiçoamento da microestrutura e das propriedades desses materiais.

A equipe, formada por pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), conseguiu, por exemplo, produzir em laboratório aços inoxidáveis 15 a 20 vezes mais resistentes à cavitação (surgimento de pequenos furos na superfície do material) que os atuais. Também desenvolveu chapas mais finas e mais adequadas ao processo de estampagem (a conformação, por meio de prensagem, para a obtenção de carrocerias de automóveis, eletrodo-



Motor elétrico: aço mais eficiente para evitar dissipação de energia

mésticos etc.), além de aços elétricos mais eficazes, próprios para uso em motores de geladeiras, em aparelhos de ar-condicionado e nos transformadores de televisão e de computadores. “Nós melhoramos a qualidade desses aços, modificando a textura cristalográfica (distribuição de orientações dos grãos que formam a microestrutura do material) de forma a elevar as propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e de resistência ao desgaste e à corrosão”, explica o engenheiro de materiais Angelo Fernando Padilha, da Poli-USP, coordenador do estudo que é financiado pela FAPESP por meio de um projeto temático iniciado em maio de 2000.

Um dos principais avanços obtidos pela equipe relaciona-se aos aços inoxidáveis, um grupo de ligas de ferro e cromo que atinge a produção mundial de 12 milhões de toneladas por ano. Eles têm como característica principal a resistência a agentes corrosivos e oxidantes e são usados nos utensílios domésticos, em equipamentos hospitalares e até em turbinas de usinas hidrelétricas. Os estudos apresentaram soluções para o combate à cavitação, um desgaste comum aos inoxidáveis, especialmente danoso para equipamentos submersos e que sofrem grandes variações de pressão nesse ambiente, como as hélices de navios e turbinas de hidrelétricas. “Para evitar esse problema, desenvolvemos um aço inoxidável especial com uma determinada quantidade de nitrogênio – entre 0,5 e 0,6% da massa – na superfície do metal. Com a adição de nitrogênio, o metal fica mais duro e altamente resistente à cavitação”, afirma o engenheiro André Paulo Tschiptschin, da Poli-USP, que coordena essa linha de pesquisa.

Para receber o nitrogênio, a peça de aço é colocada em um reator sob alta temperatura, acima de 1.000° Celsius, onde existe uma atmosfera gasosa de nitrogênio que penetra na estrutura cristalina do material. “Em testes de laboratório, esses novos aços são de 8 a 25 vezes mais duráveis do que os atuais. Já estamos preparando uma patente sobre o uso dessa nova liga em turbinas submetidas a grandes variações de pressão da água”, diz o pesquisador. Segundo Tschiptschin, os estudos com-



provaram que a textura do material é muito importante para elevar a resistência à cavitação. “Por isso, também estamos mexendo na distribuição das orientações dos grãos da superfície do metal tentando criar texturas mais eficientes. Observamos que a cavitação ocorre preferencialmente em certos tipos de contornos de grão e utilizamos a estratégia de processar o material evitando essas formações.”

Aços biocompatíveis - O grupo também trabalha na melhoria dos aços inoxidáveis visando sua utilização na fabricação de próteses ósseas permanentes. Esse material ainda é usado apenas em próteses temporárias, como pinos, placas e parafusos. Seu uso em próteses permanentes, como as de quadril, não é recomendável por não serem suficientemente biocompatíveis e nem

resistentes a alguns tipos de corrosão. Os materiais mais empregados em próteses permanentes são as ligas de titânio e de cromo-cobalto-molibdênio, que apresentam a desvantagem de serem caras. No Brasil, elas custam cerca de US\$ 4,5 mil, enquanto as de aço inoxidável saem por US\$ 600. “Estamos pesquisando como melhorar a prótese de aço inoxidável adicionando altos teores de nitrogênio, na faixa de 0,2% a 1,2% de sua massa”, conta Tschiptschin. “Com isso, os problemas de biocompatibilidade e corrosão são consideravelmente reduzidos. Já melhoramos a composição química das próteses e fizemos todos os ensaios especificados em normas para sua aceitação. Agora estamos aprimorando a textura do aço, porque a deterioração do material também está relacionada a ela”, diz o pesquisador.



Chapas de aço na empresa Brasmetal: repasse de resultados da pesquisa garante melhor processo de produção

Ainda relacionado aos inoxidáveis, o grupo tem avançado no estudo dos aços ferríticos-austeníticos, também chamados de dúplex. Criado na década de 1970, esse material é muito usado em ambientes que exigem alta resistência à corrosão, como centrífugas para produção de sabonetes em indústrias químicas e bombas hidráulicas que trabalham na indústria petrolífera e de mineração, em contato com meios lamacentos. “Estudamos, entre outros aspectos, as relações de orientação entre as duas fases (ferrítica e austenítica) desses aços. Quando esse material precisa ser conformado (o mesmo que estampado) para que adquira a sua forma final, a textura é um fator fundamental no comportamento da estampagem. Por isso, precisamos selecionar os processos termomecânicos que vão

induzir à textura adequada para a conformação do material”, explica o físico Nelson Batista de Lima, do Laboratório de Difração de Raio X do Ipen.

Motores elétricos - Além dos avanços na área de inoxidáveis, os pesquisado-

O PROJETO

Otimização da Microestrutura, da Microtextura e da Mesotextura de Materiais Ferrosos Avançados

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
ANGELO FERNANDO PADILHA – USP

INVESTIMENTO
R\$ 345.075,08 e US\$ 447.946,00

res têm feito progressos no aperfeiçoamento das características dos aços elétricos ao silício usados em motores elétricos e transformadores de vários equipamentos eletrônicos. Esses aços, que contêm em sua composição cerca de 2% de silício, possuem um papel crucial na matriz energética do mundo, porque aproximadamente 50% da energia elétrica produzida é consumida pelos motores elétricos. “Nosso trabalho tem um único objetivo: desenvolver aços para fins eletromagnéticos que tenham uma menor dissipação de energia quando em operação. Isso significa que é preciso reduzir o aquecimento desses motores”, explica o engenheiro metalurgista Fernando Landgraf, pesquisador do IPT e um dos subcoordenadores do projeto.

A função do aço em um motor elétrico é amplificar o campo magnético. Dessa forma, ampliam-se as forças de magnetização e, conseqüentemente, a potência do motor. Como o motor é magnetizado e desmagnetizado 60 vezes por segundo, o aço se aquece e a energia é dissipada. Esse é um efeito colateral indesejado do funcionamento dos motores elétricos, chamado de perda histerética. “É ela que tem de ser diminuída. Nosso grande desafio é produzir aços de melhor qualidade e assim reduzir esse tipo de perda”, diz o pesquisador.

A qualidade dos aços elétricos, por sua vez, está relacionada a cinco fatores: o tamanho médio dos cristais que compõem a liga, o número de defeitos cristalinos, o número e o tamanho de microcristais de impureza (chamadas de inclusões) e a textura cristalográfica, ou seja, a orientação dos cristais no espaço. “Os fabricantes de aço já têm boas receitas para controlar as três primeiras variáveis e reduzir as perdas histeréticas. O problema reside em controlar a textura”, diz Landgraf. “Pelo menos 30 grupos mundiais tentam descobrir um método que permita fabricar a textura ideal para minimizar essas perdas.”

Em um aço com textura perfeita, os cristais em forma de cubo devem estar distribuídos de tal maneira que todos tenham uma de suas faces paralela à superfície da chapa. Além disso, devem estar espalhados ao acaso de forma que ao se aplicar um campo magnético de qualquer direção sempre prevaleça uma grande quantidade de cristais com uma aresta paralela à direção desse cam-

po. “Estamos perseguindo esse sonho por dois diferentes caminhos: um baseado numa nova tecnologia de fabricação de aços chamada lingotamento contínuo de tiras, e o outro na tecnologia convencional de lingotamento contínuo”, conta Landgraf. Segundo o pesquisador do IPT, o novo método apresenta uma grande vantagem econômica, porque a partir do aço líquido é possível produzir chapas de 2 milímetros (mm) de espessura, em comparação com os 250 mm do processo tradicional. As chapas para fabricação de aços elétricos devem ter 0,5 milímetro de espessura. “A nova tecnologia proporciona uma grande economia de recursos no processo de laminação e, além disso, produz aços elétricos com a textura ideal. Só que, quando o aço passa por uma nova laminação para reduzir a espessura de 2 para 0,5 milímetro, a textura que era perfeita sofre uma drástica deterioração”, afirma Landgraf. “Nossos esforços são no sentido de recuperar a textura ideal, igual à existente ao final do processo de lingotamento contínuo de tiras, controlando a laminação e o aquecimento.”

A boa notícia é que o grupo do IPT conseguiu, há um ano, resultados animadores. “Depois de muita pesquisa, conseguimos fazer com que 20% dos cristais fiquem com a face do cubo paralela à superfície. Ao longo de 2003, repetimos e confirmamos o processo quatro vezes. Foi uma descoberta importante que deverá ter impacto em nível mundial. Por isso, estamos num momento de finalizar o depósito de patente dessa nova técnica”, conta o pesquisador. Para se ter uma noção do avanço que isso representa, basta saber que os aços elétricos produzidos hoje têm apenas 5% dos cristais orientados adequadamente. Com o ordenamento de 20% dos grãos, os pesquisadores reduziram em 20% as perdas com a dissipação de energia. Com isso, os motores ficam 3% mais eficientes.

O outro caminho trilhado pela equipe consiste em um aprimoramento do processo convencional de lingotamento contínuo. Nele, o aço é laminado a quente até atingir 2 milímetros de espessura e, em seguida, sofre uma laminação a frio que o deixa com 0,54 milímetro. Numa fase posterior, o aço é




Índice de acerto de 100% na fabricação de capas de ferro elétrico

aquecido e novamente laminado a frio para atingir a espessura ideal de 0,5 milímetro. Depois, é reaquecido para aumentar o tamanho dos cristais, eliminar alguns defeitos e desenvolver textura. “Nessa tecnologia, estudamos alterações para que, ao final do processamento do aço, exista um maior número de cristais ordenados de maneira ideal”, explica o pesquisador.

Aços carbono - Outra linha de pesquisa do projeto está ligada a um melhor desempenho dos aços de ultrabaixo carbono (porcentagem de carbono menor que 0,005) também usados em processos de estampagem. Esses aços são formados, quase na totalidade, de ferro, porque a concentração de carbono é muito reduzida. Eles são empregados na fabricação de capas de ferro elétrico, tampa de grill, fechaduras, dobradiças, paralamas, carroceria de automóveis etc. A obtenção de uma textura mais avançada que a atual é importante porque ocasionará menos perdas na produção e melhor aproveitamento do material. As informações produzidas pelo grupo estão sendo repassadas para a relaminadora Brasmatal-Waelzholz, uma joint-venture composta por 51% do grupo brasileiro Vidigal e 49% da matriz alemã. A em-

presa, instalada em Diadema (SP), realiza há mais de dez anos trabalhos em parceria com a Poli-USP.

“Graças à pesquisa, conseguimos melhorar o processo de fabricação de alguns de nossos produtos, como capas de ferro elétrico e carcaças de filtros de ar e de óleo de automóveis, elevando consideravelmente o índice de acerto. A produção desses materiais é complexa porque sua conformação, ou seja, a moldagem, é muito difícil, o que prejudica o sucesso da estampagem. Com os conhecimentos gerados pelo projeto, o índice de acerto agora é de 100%”, afirma o engenheiro metalurgista Antenor Ferreira Filho, diretor industrial da Brasmatal-Waelzholz. A empresa não divulga qual era o índice de acerto anteriormente e ainda não contabilizou os ganhos econômicos advindos do uso do processo otimizado. Segundo Ferreira Filho, a otimização do processo só foi possível em função da melhor compreensão dos aspectos envolvendo a textura dos aços de baixo carbono. Para isso, os pesquisadores contaram com o auxílio de modernos equipamentos, como um microscópio eletrônico de varredura, instalado na Escola Politécnica, que permite a execução de análises de microtextura por meio de uma sofisticada técnica cha-



Prótese de quadril
em aço inoxidável:
biocompatível

Caixa de bateria:
chapas mais finas
e mais resistentes

mada difração de elétrons retroespalhados (Electron Back Scattered Diffraction – EBSD).

O quarto objeto de estudo do grupo são os aluminetos de ferro formados entre átomos que correspondem a ligas de ferro e de alumínio que apresentam uma composição química bem definida e possuem como característica o fato de serem duros e, ao mesmo tempo, frágeis. “Os materiais baseados nesses compostos recebem o nome de materiais intermetálicos ordenados”, define o físico Cláudio Geraldo Schön, da Escola Politécnica da USP, que também integra o projeto temático.

Novos compostos - As pesquisas visando o desenvolvimento desses compostos têm avançado em várias partes do mundo porque os materiais intermetálicos baseados em aluminetos de ferro, de níquel e de titânio apresentam uma série de vantagens quando usados para aplicações estruturais, como palhetas de turbina utilizadas na geração de energia termoeletrica. “Como os aluminetos de ferro têm teores elevados de alumínio, são mais leves do que os aços e sua resistência à corrosão e à oxidação é muito alta. Além disso, esses materiais caracterizam-se por uma estrutura ordenada, que lhes confere uma ótima es-

tabilidade estrutural e, conseqüentemente, boa resistência mecânica a altas temperaturas”, explica Schön.

O problema ainda não solucionado pelos pesquisadores é a fragilidade mecânica deste composto em temperatura ambiente, induzida pela introdução de grande quantidade de alumínio. “Esses novos materiais têm baixa resistência a impacto e perda de maleabilidade. Enquanto em testes de tração o aço pode alongar até 40% do seu tamanho original, os compostos intermetálicos chegam somente a 4%”, conta o pesquisador da Escola Politécnica. Para controlar essa limitação, podem ser adotadas duas abordagens. A primeira, baseada numa rota química, prevê a adição de cromo e boro entre outros elementos à liga para aumentar sua ductilidade, ou seja, sua capacidade de se deformar sem quebrar. O segundo caminho consiste em submeter o material a um processamento termomecânico por meio de laminação controlada. Os pesquisadores acreditam que o aumento da ductilidade tenha correlação com uma textura especial desenvolvida durante a laminação.

Um grupo de cientistas da Universidade de Ciência e Tecnologia de Bei-

jing, na China, conseguiu com esse método aumentar o alongamento para 17%. A equipe coordenada por Schön está investigando as causas desse fenômeno. “Nosso grupo de pesquisa trabalha na caracterização dessas texturas, durante todas as etapas do processamento termomecânico, para permitir a compreensão dos mecanismos que causam a melhoria das propriedades dos aluminetos de ferro”, afirma Schön. “Fazemos pesquisa básica, mas existe um grande potencial para aplicação tecnológica a médio prazo, por exemplo, na indústria automobilística, na fabricação de peças de motores de combustão interna que trabalham em contato com gases de exaustão em altas temperaturas”, diz o pesquisador.

Workshop de peso - O sucesso do projeto, que já originou um livro e um CD sobre textura cristalográfica, pode ser medido pela produção científica do grupo, que inclui a publicação de 35 artigos em periódicos estrangeiros, a divulgação de 71 trabalhos em anais de eventos nacionais e internacionais e a produção de nove dissertações de mestrado e três teses de doutorado. Em quase quatro anos de trabalho, participaram do projeto cerca de 60 pessoas entre pesquisadores, alunos de pós-graduação e iniciação científica e técnicos de nível médio e superior, além dos coordenadores e mais sete subcoordenadores do temático. “Pelo menos uma dezena de jovens pesquisadores foi treinada e recebeu sólidos conhecimentos e independência para conduzir pesquisas na área de cristalografia e textura, conhecida como Engenharia de Contornos de Grãos”, afirma o engenheiro Angelo Padilha.

Além disso, a equipe que coordena o temático organizou, no início de dezembro, o 2º Workshop sobre Textura e Relações de Orientação, realizado no Ipen, que contou com a presença de mais de cem participantes, entre pesquisadores dos principais grupos de pesquisa na área e engenheiros de empresas produtoras e processadoras de materiais metálicos planos, onde o controle de textura é particularmente importante. “Não é qualquer país que pode reunir mais de cem pessoas interessadas em discutir assuntos tão elaborados tecnicamente”, conclui o pesquisador. •