

Design Industrial

Guia de Materiais e Fabricação

Jim Lesko



Blucher

2ª edição

Design Industrial
Guia de Materiais e Fabricação

Blucher

Jim Lesko

Design Industrial
Guia de Materiais e Fabricação

Segunda edição



Título original: *Industrial Design – materials and manufacturing guide*

Copyright © 2008 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Todos os Direitos Reservados. Esta tradução é publicada sob licença.

Design Industrial – Guia de Materiais e Fabricação
2ª ed.
Editora Edgard Blücher Ltda.
2012

Tradutor
Marcelo A. L. Alves

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 - São Paulo - SP - Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem
autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Lesko, Jim
Design industrial: guia de materiais e fabricação /
Jim Lesko; tradução Marcelo Alves -- 2ª ed. -- São Paulo:
Blucher, 2012.

Título original: Industrial design: materials and
manufacturing guide
ISBN 978-85-212-0621-7

1. Design industrial 2. Materiais 3. Processos de
fabricação. I. Título

12-00666

CDD-745.2

Índices para catálogo sistemático:
1. Design industrial

745.2

Agradecimentos

A ideia para *Desenho Industrial: guia de materiais e fabricação* surgiu por volta de 1975 quando o Prof. Born pediu-me para lecionar sobre o assunto na Universidade de Cincinnati. Tive a boa sorte de ter um grupo excepcional de alunos, incluindo John Bucholtz, Mike Gallagher e Sam Lucente, cuja resposta entusiasmada à minha proposta de organização do tema convenceu-me de que um texto visual simples era necessário para atrair o interesse de estudantes com treinamento em artes. Muitos dos textos e periódicos existentes sobre o assunto são muito bons para aqueles alunos cujo interesse está na quantidade de detalhes apresentados, com ênfase em explicações e argumentos quantificáveis. Aprendi com esses textos e periódicos e eles continuam parte necessária do processo de aprendizado do estudante de design. Mas estudantes impacientes de design industrial que querem entender conceitos necessitam de uma visão geral: ler um resumo, ver exemplos e seguir para o tópico seguinte conforme a mesma lógica. Estudantes de design parecem perceber que não terão a responsabilidade principal na seleção de materiais ou especificação do processo de fabricação no projeto do produto, mas, intuitivamente, eles entendem que precisam ter meios de conversar sobre o assunto e que materiais e métodos de fabricação serão determinantes no processo de projeto.

Há um entusiasmo e investigação crescente a respeito de materiais e fabricação na comunidade do design por conta da recente explosão de ideias engendradas pelos avanços nas pesquisas aeroespaciais. Materiais Mutantes em Design Contemporâneo (Mutant Materials in Contemporary Design), exposição organizada por Paola Antonelli, Curadora Associada no Museum of Modern Art, e a Material Connexion, concebida por George Baylerian, são exemplos de destaque do renovado enfoque de energias nesse aspecto fundamental do design. Na sociedade americana dos designers industriais (ISDA), Dave Kusuma foi muito influente na organização do grupo de materiais e processos e em aproximar a Society of Plastics Engineers (Sociedade dos engenheiros do plástico) com a ISDA em suas conferências e encontros.

Durante anos, desejei que alguém fizesse tal texto. Após ensinar o assunto por mais de 15 anos, eu me dei conta de que nenhum designer seria presunçoso o bastante para tentar desenvolver um texto sobre esse assunto para estudantes de design industrial. Assim, comecei a colecionar minhas anotações. Enquanto estive no Pratt Institute, re-

cebi uma bolsa Mellon para produzir uma estrutura para a informação. Durante esta fase inicial, muitos estudantes me auxiliaram, incluindo Deborah Zweicker e Eileen Lee. Sem contar com um computador, nós trabalhamos a maior parte do verão compondo organogramas e fazendo listas de informações à mão. Quando estive na Carnegie Mellon University, o professor Alex Bally, chefe do departamento de design industrial, e os professores Greenberg e Paxton, do departamento de Ciências dos Materiais, revisaram meus conceitos preliminares e deram muitas sugestões e apoio.

Embora eu seja o responsável pelo uso que fiz das informações que recebi, seria impossível completar esta empreitada sozinho. De fato, este livro é resultado do trabalho de muitas pessoas: os vários estudantes que assistiram às minhas aulas e deram algum feedback, e os fabricantes e fornecedores que gentilmente dispuseram de seu tempo valioso e tiveram muita paciência comigo ao tentar garantir que recebesse a informação que precisava. Há muitos que se destacaram, que foram muito além do que se esperava.

Este livro não teria sido terminado sem a ajuda de Ed Eslami, que em muitas ocasiões me socorreu do pânico e que com sua serenidade, desenhos inspirados e laiaute gráfico tirou várias vezes este livro do marasmo. Eu sou agradecido por sua ajuda e talento excepcionais. Muitos estudantes ajudaram com pesquisas e desenhos, nomeadamente Kyang Haub Kang, Tong Jin Kim e Mingshiu Yang.

Don Blair da Talbot Associates que esteve comigo quase desde o começo, e posteriormente Jeff Talbot juntou-se a ele dando horas de discussões, pilhas de catálogos e muitas outras fontes de informação a respeito de fundição. Christine Lagozs e seus associados na Trumpf, Inc., Bill Guftner da US Amada Ltd., Steven Friedman da Peterson, Walter Ackerman da Ridson, John Matthews da ESAB Welding & Cutting Products e Bob Cook da Bridgeport Machines foram alguns das excelentes pessoas que forneceram toda a informação que solicitei a respeito de conformação e usinagem de metais.

Dave Kusuma e Michael A. D'Onofrio, Jr. e seus auxiliares na Bayer Corporation; Jack Avery, George Whitney e seus auxiliares na GE Plastics; Steve Ham; Dave Beck of Pappago; Victor Gerdes e seus associados no Stevens Institute; Bill Fallon da Sikorsky; e George Cekis da Solvay forneceram partes importantes no capítulo sobre plásticos de construção. Eu sou grato aos editores do Injection Molding Handbook por Rosato & Rosato e do Plastics Engineering Handbook da Society of the Plastics Industry que permitiram que eu reproduzisse muitos desenhos.

Para esta segunda edição, tive a sorte de ter Edward Eslami mais uma vez como a luz que me guiou e ajudou a que novas ideias acontecessem. Mike Gallagher, um antigo estudante e hoje colega, nos deu inspiração e entusiasmo mais uma vez ao convidar-me a ir na Crown Equipment Corp. em visitas nas suas instalações de projeto e fabricação. Jim Kraimer, Jeffery Mauch e Douglas Rinderle e seus vários auxiliares guiaram estas visitas e responderam de forma muito capaz às minhas várias perguntas. Manuel Saez e Lachezar Tsvslotiny, também ex-alunos, descreveram seus trabalhos na HumanScale e nos deram imagens de seus projetos atuais. Peter Bressler e Dave Kaiser, ambos com seus auxiliares, responderam gentilmente aos meus pedidos de imagens. David Sticker da Production Resources e Robert Hagermeister da Parametric Design Associates forneceram informações atuais importantes.

Muitas das descrições sobre fundição foram retiradas do 2006 Casting Source Directory, publicado pela Engineering Casting Solutions, com a permissão gentilmente concedida pelo Editor e Publisher Alfred T. Spada. John Chion da Talbot Associates revisou o meu rascunho do capítulo sobre fundição e forneceu orientação e sugestões. Obviamente, muitos outros fizeram o esforço de ler meus rascunhos e pacientemente corrigiram meus erros e contribuíram com sua experiência; seus pensamentos estão distribuídos nestas páginas.

Eu sou grato a um sem-fim de alunos que estiveram sempre prontos a ajudar. Zackary Smith ajudou com o leiaute gráfico e Soo Hwan Cho e Wooyeon Cho forneceram muitas ilustrações. Quando eu cheguei à Universidade Dongseo na Coreia, Sang-Hwan Na, Sang-Wook Eom, Ji Young Kang, Hyo-Jin Kim e Joon-Goo Lee auxiliaram com ilustrações e desenhos. Também gostaria de agradecer as várias companhias presentes na Feira Intermold Korea 2007 pelas pilhas de catálogos e inúmeras ilustrações. O entusiasmo e disposição em ajudar por parte de quase todos com quem tive contacto fizeram com que eu prosseguisse. Sou grato a todos.

Gostaria de agradecer aos vários engenheiros e designers que me ajudaram e apoiaram. Este livro é dedicado a eles; à memória de Donald R. Dohmer, o pai da educação em design industrial nos EUA; e a Peter Megert, que inspirou e emprestou sua infindável sabedoria a muitos designers jovens.

Conteúdo

1	Introdução	11
2	Visão geral	15
3	Metais.....	19
3.1	Propriedades dos metais	20
3.2	Metais ferrosos.....	26
3.3	Metalurgia do pó	33
3.4	Metais não ferrosos.....	34
4	Conformação de metais.....	45
4.1	Conformação em estado líquido.....	47
4.1.1	Moldes descartáveis.....	54
4.1.2	Moldes não descartáveis	62
4.2	Conformação no estado plástico	73
4.2.1	Laminação	74
4.2.2	Forjamento e forjamento rotativo	76
4.2.3	Trefilação	77
4.2.4	Extrusão	78
4.3	Conformação em estado sólido	82
4.3.1	Dobra simples	83
4.3.2	Dobramento composto	89
4.3.3	Conformação e corte	93
5	Corte de metais.....	96
5.1	Puncionamento de chapas e cisalhamento.....	98
5.2	Corte com formação de cavaco	102
5.3	Corte sem formação de cavaco.....	111
5.4	Corte térmico por chama	117
6	União de metais	121
6.1	Solda fraca.....	123
6.2	Caldeamento/soldagem	124
7	Acabamentos e revestimentos	148
7.1	Texturas conformadas/moldadas.....	149
7.2	Padrões usinados e acabamento abrasivo	155
7.3	Revestimento	163

8	Plásticos	169
8.1	Propriedades dos plásticos moldados	181
8.2	Termofixos	193
8.3	Termoplásticos.....	201
9	Processo de conformação de plásticos	234
9.1	Conformação em estado líquido.....	238
9.2	Conformação em estado plástico	258
9.3	Conformação em estado sólido	264
10	Usinagem de plásticos	265
11	União de plásticos.....	268
12	Acabamento de plásticos.....	283
13	Borrachas e elastômeros	294
13.1	Borrachas Termofixas	295
13.2	Elastômeros termoplásticos	305
14	Materiais naturais de engenharia	310
14.1	Cerâmicas de engenharia	312
14.2	Vidro	319
14.3	Carbono manufaturado.....	329
14.4	Metais duros refratários	331
15	Compósitos.....	333
16	Prototipagem rápida	338
	Índice remissivo	341

Introdução

1

Necessidade de Materiais e Fabricação

O designer industrial, seja atuando numa equipe ou individualmente, é responsável pela aparência e forma de um produto. Se a forma de um produto é de algum modo resultante de como é fabricado, resulta que o designer precisa ter um bom entendimento de todos os processos de fabricação disponíveis, de maneira a ter confiança que o método de fabricação proposto é o mais econômico e apropriado. Se um designer desconhece a disponibilidade de certo processo, seu potencial criativo fica limitado. Seria como se um compositor escrevesse uma sinfonia sem conhecer totalmente a cor, capacidade e alcance máximo de alguns instrumentos.

Educação em Design

Estudantes de design industrial precisam ter um entendimento de materiais e fabricação – idealmente no segundo ano de curso. Isso é importante pois, à medida que projetos são solicitados, os estudantes precisam visualizar e desenvolver formas que no final das contas serão fabricadas (mesmo que apenas em teoria). Sem uma base de conhecimento abrangente a respeito das possibilidades de materiais e fabricação, os estudantes apenas podem tatear, limitados pela ignorância nesse tema e sem conhecer a variedade de possibilidades disponíveis. Por outro lado, com uma boa base de conhecimento, os estudantes podem propor uma gama de possibilidades de soluções de design e ter certeza de que podem ser fabricadas.

Este guia foi criado especificamente para um curso de dois semestres para estudantes de design industrial. Também deve ser útil para ou-



Figura 1.1 Organizador de estoques Crown TSP6000 (cortesia Crown Equipment Corporation)

Métodos de fabricação		Conformação			Corte				União				Acabamento		
		Estado líquido	Estado plástico	Estado sólido	Corte de chapas	Com formação de cavacos	Sem formação de cavacos	Chama/Laser	Brasagem /Caldeamento	Soldagem	Por adesivos	Mecânica	Conformação	Abrasão/Corte	Revestimentos
Metais	Ferrosos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Não ferrosos	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
Plásticos	Termofixos	●	○	○	●	●	◐	◐	○	○	●	●	●	◐	●
	Termoplásticos	●	●	◐	●	●	◐	◐	○	●	●	●	●	●	●
Borrachas e elastômeros	Termofixos	●	○	○	●	◐	◐	◐	○	○	●	●	●	◐	◐
	Termoplásticos	●	●	●	●	◐	◐	◐	○	●	●	●	●	◐	◐
Materiais de engenharia	Carbono Manufaturado	●	○	○	○	●	◐	○	○	○	◐	◐	◐	◐	◐
	Vidro	●	●	○	●	◐	◐	○	◐	●	◐	◐	●	◐	◐
	Vitrocerâmicos	●	◐	○	○	◐	○	○	○	○	●	◐	●	◐	◐
	Metais duros refratários	●	●	○	○	◐	◐	◐	●	○	◐	◐	◐	●	◐
Materiais naturais	Fibras	●	◐	●	●	●	○	◐	○	○	◐	●	◐	◐	◐
	Produtos em madeira	◐	◐	○	●	●	◐	◐	○	○	●	●	◐	●	●

●

 Todos os processos

◐

 A maioria dos Processos

○

 Alguns Processos

○

 Nenhum Processo

Figura 1.2 Materiais e fabricação

tros profissionais que precisam de um conhecimento introdutório a respeito do tema. Não é, e não tem o propósito de ser, uma alternativa aos textos padrões de engenharia sobre o assunto. Seria adequado aos designers adquirirem tais textos em algum momento. *Design Industrial: guia de materiais e fabricação* foi criado para dar uma visão geral em palavras simples e imagens, além de servir como guia e apresentação a este ramo um tanto complexo, uma parte necessária na educação em design industrial.

Um exemplo excelente da necessidade de um pleno entendimento a respeito de materiais e fabricação está no Crown TSP6000, especialmente a cabine mostrada na capa. Ainda que produtos de consumo sejam desafiadores em muitos aspectos, incluindo o marketing, produtos industriais como TSP possuem demandas excepcionais de excelência

em design e engenharia, tais como uma extrema atenção à ergonomia e à análise de custo $\times$ benefício, bem como outras preocupações usuais de design. O TSP é um exemplo perfeito de onde designers demonstram claramente um entendimento da gama disponível de materiais e processos disponíveis. Isso é particularmente exemplificado na cabine do TSP. Os designers explicaram que para cada parte eles consideraram todos os materiais possíveis e processos de fabricação relacionados. A melhor opção para cada peça foi escolhida por meio de análise rigorosa de gráficos de custo $\times$ benefício, desenvolvidos no procedimento padrão operacional, parte do programa de design da Crown. O resultado é um espetacular e bem-sucedido, do ponto de vista estético, uso de materiais cumprindo todas as demandas, fabricados de modo econômico para atingir os requisitos de produção, mas – mais importante – satisfazendo as mais extremas demandas operacionais dos usuários.

Sequência de Design do Produto



Figura 2.1 Sequência de design do produto