

کامپوزیتهای زمینه فلزی

Karl U.Kainer

مترجمین:

دکتر سید مصطفی پور

(عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز)

محمد براهنی

(دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ساخت و تولید)

نصر پروانه - شایسته

تبریز - ۹۲

عنوان و نام پدیدآور : کامپوزیت‌ها / زمینه فلزی / تالیف : [صحیح : ویراستار] کارل کاینر؛

مترجمین: امیر مصطفی پور، ویراستار و محمد پراهنی.

مشخصات نشر : تبریز: نصر پروانه، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری : ۳۵۴ص: مصور، نمودار.

شابک : 978-600-7064-48-1

وضعیت فهرست نویسی : فیا

یادداشت : عنوان اصلی : Metal matrix composites : custom-

made materials for automotive and aerospace
engineering c2006

موضوع : موادچندسازه فلزی

شناسه افزوده : کاینر، کی. یو.، ویراستار

شناسه افزوده : Kainer, K. U.

شناسه افزوده : مصطفی پور، امیر، ۱۳۵۰ - مترجم

شناسه افزوده : پراهنی، محمد، ۱۳۶۷ - مترجم

رده بندی کنگره : TA۴۸۱/ک۲ ۱۳۹۲

رده بندی دیویی : ۶۲۰/۱۶

شماره کتابشناسی ملی : ۳۳۶۷۶۵۷



انتشارات نشر پروانه
تیریز- چهارراه دشتی - پلاک ۴
تلفن: ۰۴۱۱-۵۵۲۲۷۶۲
۰۴۱۱-۵۵۴۳۷۶۸
np_nashr@yahoo.com
www.np-nashr.com

با همکاری



انتشارات شایسته
تیریز- خیابان امام، روبروی سه راه طالقانی
تلفن تماس: ۰۴۱۱-۵۵۶۱۹۶۱

گامپوزیت‌های زمینه فلزی

تألیف: کارل کاینر

مترجمین:

دکتر امیر مصطفی پور - مهندس محمد براهنی

تألیف، طراحی و صفحه‌آرایی	: فرشید
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۲
اندازه و تعداد صفحه	: وزیری ۳۵۴ ص
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۴-۴۸-۱	: ISBN: 978-600-7064-48-1

قیمت: ۲۵۰/۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱۳
فصل ۱: مبانی کامپوزیتهای زمینه فلزی (MMC).....	۱۵
۱.۱ مقدمه.....	۱۵
۱.۲ ترکیب مواد کامپوزیتهای سبک با زمینه فلزی.....	۱۸
۱.۲.۱ تقویت کننده ها.....	۱۸
۱.۲.۲ سیستمهای آلیاژ زمینه.....	۲۰
۱.۲.۳ تولید کامپوزیتهای با زمینه فلزی.....	۲۱
۱.۳ مکانیزم تقویت کنندگی.....	۲۵
۱.۳.۱ تقویت کنندگی الیاف بلند.....	۲۷
۱.۳.۲ تقویت کنندگی الیاف کوتاه.....	۳۰
۱.۳.۳ استحکام بخشی با ذرات.....	۳۶
۱.۳.۴ مدول ینگ.....	۳۸
۱.۳.۵ ضریب انبساط حرارتی.....	۳۹
۱.۴ تاثیر سطح مشترک.....	۴۲
۱.۴.۱ مبانی خیس شدگی و نفوذ.....	۴۲
۱.۴.۲ هدف از چسبندگی.....	۵۲
۱.۵ ساختار و خواص مواد کامپوزیت فلزی سبک.....	۵۷
۱.۶ کاربرد کامپوزیتهای پایه فلزی.....	۶۵
۱.۷ بازیافت.....	۶۹

۷۱	فصل ۲: ذرات، الیاف و الیاف کوتاه برای تقویت مواد فلزی
۷۱	۲.۱ مقدمه
۷۲	۲.۲ ذرات
۷۵	۲.۲.۱ الیاف
۷۶	۲.۳ الیاف پیوسته
۷۸	۲.۳.۱ تک رشته ایها
۸۱	۲.۳.۲ الیاف چند رشته ای
۸۱	۲.۳.۳ الیاف کربن
۸۴	۲.۳.۴ الیاف اکسید سرامیک
۸۷	۲.۳.۵ الیاف چند رشته ای SiC
۸۸	۲.۴ طرح الیاف چند رشته ای موجود در بازار
۸۹	۲.۴ الیاف کوتاه
۹۳	فصل ۳: ماده پیش فرم برای تقویت فلزات سبک - ساخت، کاربردها و پتانسیل
۹۳	۳.۱ مقدمه
۹۴	۳.۲ اصول ساخت پیش فرم
۹۴	۳.۲.۱ پیش فرم فیبر کوچک
۱۰۱	۳.۲.۲ پیش فرم های هیبریدی
۱۰۳	۳.۳ کاربردهای متداول
۱۰۳	۳.۳.۱ پیستون دیزل آلومینیوم با محفظه احتراق تقویت شده با الیاف
۱۰۵	۳.۳.۲ سرسیلندرها آلومینیوم با نگهدارنده تقویت شده با الیاف
۱۰۶	۳.۳.۳ تقویت بوش سیلندر در کارترهای آلومینیومی، Alusil
۱۰۷	۳.۳.۴ بلوکهای یاتاقان Al-MMC برای میل لنگها
۱۰۷	۳.۳.۵ شکل پیش فرم برای تقویت بلوکهای یاتاقانی
۱۰۷	۳.۳.۶ دیسکهای ترمز MMC از جنس آلومینیوم
۱۰۸	۳.۴ خلاصه و چشم انداز
۱۱۱	فصل ۴: مواد کامپوزیت زمینه آلومینیوم در موتورهای احتراقی
۱۱۱	۴.۱ مقدمه
۱۱۳	۴.۲ اصول طراحی محفظه سیلندر و فناوری سطح سیلندر
۱۱۴	۴.۲.۱ ALUSIL
۱۱۵	۴.۲.۲ روشهای غیریکنواخت
۱۱۶	۴.۲.۳ روش شبه یکپارچه

۱۱۸	۴.۲.۴ روش LOKASIL [۹]
۱۲۰	۴.۳ تولید محفظه های سیلندر LOKASIL
۱۲۰	۴.۳.۱ مقدمه
۱۲۰	۴.۳.۲ ساخت پیش فرم
۱۲۴	۴.۳.۳ فرآیند ریخته گری
۱۲۶	۴.۴ خلاصه و چشم انداز
۱۳۷	فصل ۵: تولید کامپوزیتها یا اتصال مواد با فرآیندهای پوشش دهی حرارتی
۱۳۷	۵.۱ مقدمه
۱۳۸	۵.۲ پاشش حرارتی
۱۳۹	۵.۲.۱ مواد افزودنی پاششی
۱۳۱	۵.۲.۲ مواد لایه ای
۱۳۱	۵.۲.۳ آماده سازی سطح
۱۳۲	۵.۲.۴ حرارت و خواص پوشش های پاششی
۱۳۵	۵.۲.۵ چسبندگی پوشش های پاششی
۱۳۶	۵.۲.۶ فرآیندهای پوشش دهی حرارتی
۱۳۶	۵.۲.۶.۱ پاشش شعله ای
۱۳۶	۵.۲.۶.۱.۱ پاشش شعله پودری
۱۳۷	۵.۲.۶.۱.۲ پاشش شعله پلاستیک
۱۳۷	۵.۲.۶.۱.۳ پاشش شعله سیم/میله
۱۳۸	۵.۲.۶.۲ پاشش انفجاری
۱۳۹	۵.۲.۶.۳ پاشش شعله با سرعت بالا
۱۴۱	۵.۲.۶.۴ پاشش گاز سرد
۱۴۱	۵.۲.۶.۵ پاشش قوسی
۱۴۳	۵.۲.۶.۶ پاشش پلاسما
۱۴۳	۵.۲.۶.۶.۱ پاشش پلاسما DC
۱۴۴	۵.۲.۶.۶.۲ پاشش پلاسمای HF
۱۴۵	۵.۲.۷ کاربردهای جدید
۱۴۷	۵.۲.۸ ضمانت کیفیت
۱۴۸	۵.۲.۹ جوانب محیطی
۱۴۸	۵.۳ روکش کاری
۱۴۹	۵.۳.۱ مواد پوشش دهی
۱۵۲	۵.۳.۲ مواد زیرلایه اصلی

۱۵۳	۵.۳.۳ فرآیندهای روکش کاری
۱۵۳	۵.۳.۳.۱ روکش کاری خودکار
۱۵۳	۵.۳.۳.۲ روکش کاری قوس باز (OA)
۱۵۴	۵.۳.۳.۳ روکش کاری زیرپودری (UP)
۱۵۵	۵.۳.۳.۴ جوشکاری سرباره ای مقاومتی (RES)
۱۵۶	۵.۳.۳.۵ جوشکاری فلز با گاز خنثی
۱۵۷	۵.۳.۳.۶ روکش کاری MIG پلاسما
۱۵۸	۵.۳.۳.۷ جوشکاری قوس انتقالی پودر پلاسما (PTA)
۱۵۹	۵.۳.۳.۸ روکش کاری سیم داغ پلاسما
۱۶۰	۴ خلاصه و چشم انداز

فصل ۶: خواص مکانیکی ماشینکاری کامپوزیت زمینه فلزی آلومینیوم (Al-MMC)..... ۱۶۳

۱۶۳	۶.۱ مقدمه
۱۶۴	۶.۲ مشکلات ماشینکاری انتخاب ماده برشکاری و تاثیر لایه سطحی
۱۶۹	۶.۳ انجام عملیات روی قطعات کامپوزیت زمینه فلزی
۱۷۰	۶.۳.۱ مواد برشکاری و پارامترهای ماشینکاری
۱۷۱	۶.۳.۲ ارزیابی قابلیت ماشینکاری
۱۷۱	۶.۳.۳ تراشکاری استوانه ترمز تقویت شده ذرات SiC
۱۷۸	۶.۳.۴ بورینگ سطوح سیلندر تقویت شده با ذرات Al_2O_3 و الیاف
۱۷۸	۶.۳.۴.۱ عملیات قبل از بورینگ
۱۸۰	۶.۳.۴.۲ فرآیند بورینگ پرداخت
۱۸۳	۶.۳.۵ سوراخکاری و فرزکاری پروفیل‌های اکستروود تقویت شده با ذرات TiB_2
۱۸۳	۶.۳.۵.۱ سوراخکاری
۱۸۵	۶.۳.۵.۲ فرزکاری
۱۸۸	۶.۴ خلاصه

فصل ۷: رفتار مکانیکی و خواص خستگی کامپوزیت‌های زمینه فلزی..... ۱۸۹

۱۸۹	۷.۱ مقدمه
۱۹۰	۷.۲ مبانی و میزان توسعه دانش در زمینه MMCها
۱۹۰	۷.۲.۱ تنشهای پسماند حرارتی
۱۹۱	۷.۲.۲ رفتار تغییر شکل کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۱۹۳	۷.۲.۳ تشخیص عیوب در کامپوزیتها
۱۹۵	۷.۲.۴ اجزای پایه و اصول خستگی

۲۰۰	۷.۲.۵ رفتار خستگی کامپوزیتها
۲۰۲	۷.۳ آزمایشات
۲۰۳	۷.۳.۱ مواد
۲۰۳	۷.۳.۲ تستهای مکانیکی
۲۰۳	۷.۴ نتایج و مقایسه MMC های مختلف
۲۰۳	۷.۴.۱ رفتار تغییرشکل میکلی
۲۰۶	۷.۴.۲ رفتار عمر خستگی
۲۱۰	۷.۴.۳ اثرات سطح آب
۲۱۱	۷.۵ خلاصه

۲۱۳	فصل ۸: لایه های میانی در کامپوزیت های زمینه فلزی
۲۱۳	۸.۱ خلاصه
۲۱۳	۸.۲ بخش ویژه سطوح مشترک لایه های میانی
۲۱۴	۸.۳ آزمایشات
۲۱۵	۸.۴ بهینه سازی بین لایه ای کامپوزیت های C/Mg-Al با انتخاب اجرای واکنش
۲۲۲	۸.۵ بهینه سازی بین لایه ای کامپوزیت های C/Mg-Al با پوشش دهی قبلی فیبر

فصل ۹: مواد کامپوزیت فلزی برای سطوح سیلندر موتورهای احتراقی و پرداختکاری با

۲۳۱	هونینگ
۲۳۱	۹.۱ مقدمه
۲۳۱	۹.۲ کامپوزیت های با پایه فلزات سبک
۲۳۱	۹.۲.۱ امکانات ساخت
۲۳۱	۹.۲.۱.۱ ریخته گری آلیاژهای هایپروتکتیک
۲۳۲	۹.۲.۱.۲ نفوذ
۲۳۳	۹.۲.۱.۳ زینترینگ
۲۳۳	۹.۲.۱.۴ بیم زدن ذرات سخت در داخل مذاب
۲۳۴	۹.۲.۱.۵ فورم دهی پاششی
۲۳۴	۹.۲.۱.۶ افزودن اجزای واکنش پذیر به داخل مذاب
۲۳۴	۹.۲.۱.۷ پوشش دهی حرارتی
۲۳۴	۹.۲.۱.۸ آلیاژسازی لیزری
۲۳۵	۹.۲.۲ معیارهای انتخاب
۲۳۶	۹.۲.۲.۱ تریبولوژی
۲۳۶	۹.۲.۲.۲ انعطاف پذیری

۲۳۷	۹.۲.۲.۴ معیارهای طراحی
۲۳۷	۹.۲.۲.۵ فرآیند تولید و ماشینکاری
۲۳۷	۹.۲.۲.۶ استحکام مواد کامپوزیت
۲۳۷	۹.۲.۲.۷ توانایی انتقال حرارت و انبساط حرارتی
۲۳۸	۹.۲.۳ فرآیند پرداختکاری نهایی
۲۳۸	۹.۲.۳.۱ فرآیندهای قبل از هونینگ
۲۳۹	۹.۲.۳.۲ مرحله ۱ هونینگ
۲۴۰	۹.۲.۳.۱ مرحله ۲ هونینگ
۲۴۰	۹.۲.۳.۴ مرحله ۳ هونینگ
۲۴۵	۹.۲.۴ شرایط نهایی
۲۴۵	۹.۲.۴.۱ سیستم توسعه یافته
۲۴۶	۹.۲.۴.۲ اندازه‌های خنک کننده
۲۴۶	۹.۲.۴.۳ سرششهای خشک
۲۴۶	۹.۲.۵ خلاصه
۲۴۷	۹.۳ پوشش دهی پلاسما
۲۴۷	۹.۳.۱ مطالب کلی
۲۴۸	۹.۳.۱.۱ مواد پوشش دهی
۲۴۹	۹.۳.۱.۱.۱ مشخصه های لایه و روش پیولوزی
۲۵۰	۹.۳.۱.۱.۲ پتانسیل کاربردی
۲۵۰	۹.۳.۱.۲ مقایسه هونینگ با روشهای دیگر
۲۵۱	۹.۳.۲ تعریف وظیفه فرآیند
۲۵۱	۹.۳.۲.۱ هندسه و افزودنیهای فرآیند
۲۵۱	۹.۳.۲.۲ لازمه های فرآیند سطح
۲۵۳	۹.۳.۳ نتایج آزمایشات هونینگ
۲۵۳	۹.۳.۳.۱ بررسی چسبندگی
۲۵۳	۹.۳.۳.۱.۱ چسبندگی پوشش پلاسما در نرخ ماشینکاری بالا (هونینگ خشک)
۲۵۴	۹.۳.۳.۱.۲ استحکام چسبندگی در طول هونینگ پوششهای نازک
۲۵۴	۹.۳.۳.۲ کیفیت سطح، حذف خردشدگی
۲۵۷	۹.۳.۳.۳ مقدارهای صحت فرم ممکن
۲۵۷	۹.۳.۳.۴ انجام فرآیند بر روی پوششهای فلز - سرامیک
۲۵۹	۹.۳.۳.۵ روانسازهای خنک کاری
۲۵۹	۹.۳.۳.۵.۱ هونینگ پوششهای پلاسمای فلزی خالص
۲۵۹	۹.۳.۳.۵.۲ کامپوزیتهای فلزی

۲۵۹	۹.۳.۴ خلاصه
۲۶۱	فصل ۱۰: کامپوزیتهای زمینه فلزی ساخته شده به روش متالورژی پودر
۲۶۱	۱۰.۱ خلاصه
۲۶۱	۱۰.۲ مقدمه
۲۶۳	۱۰.۳ مواد پایه
۲۶۳	۱۰.۳.۱ پودرهای فلزی
۲۶۶	۱۰.۳.۲ فاکتورهای تقویت شده با سرامیک
۲۶۷	۱۰.۴ ساخت MMCها
۲۷۱	۱۰.۴.۱ آلیاژسازی مگنیتی
۲۷۶	۱۰.۴.۲ مواد کامپوزیتی <i>in situ</i>
۲۷۷	۱۰.۴.۳ اختلاط
۲۷۸	۱۰.۴.۴ تحکیم
۲۸۰	۱۰.۴.۵ شکل دهی پاششی
۲۸۱	۱۰.۴.۶ فرآیندهای ثانویه
۲۸۱	۱۰.۵ مواد
۲۸۱	۱۰.۵.۱ MMCهای پایه منیزیم
۲۸۲	۱۰.۵.۲ MMCهای پایه آلومینیوم
۲۸۴	۱۰.۵.۳ MMCهای پایه تیتانیوم
۲۸۶	۱۰.۵.۴ MMCهای پایه مس
۲۸۹	۱۰.۵.۵ MMCهای پایه آهن
۲۹۱	۱۰.۵.۶ MMCهای پایه نیکل
۲۹۲	۱۰.۶ خلاصه و چشم انداز
۲۹۳	فصل ۱۱: شکل دهی پاششی - یک روش ساخت مناسب برای آلیاژهای MMC
۲۹۳	۱۱.۱ مقدمه
۲۹۷	۱۱.۲ شکل دهی پاششی
۲۹۸	۱۱.۳ روشهای تولید
۲۹۸	۱۱.۳.۱ روش انجماد سریع (RS)
۲۹۸	۱۱.۳.۲ روش شکل دهی پاششی
۳۰۰	۱۱.۳.۳ اصول خوب
۳۰۰	۱۱.۳.۴ تمیزاسیون مذاب فلز
۳۰۱	۱۱.۳.۵ واحد تازل

۳۰۱	۱۱.۳.۶ نازل گاز اولیه
۳۰۱	۱۱.۳.۷ نازل گاز ثانویه
۳۰۴	۱۱.۳.۸ ایمنی کارخانه
۳۰۵	۱۱.۳.۹ تزریق دوباره بودر overspray
۳۰۵	۱۱.۳.۱۰ راهکارهای اساسی عمل تزریق برای تزریق دوباره
۳۰۶	۱۱.۴ مواد
۳۰۶	۱۱.۴.۱ کاربردهای محصولات شکل دهی پاششی در صنعت خودرو
۳۰۷	۱۱.۴.۱ مواد MMC تولیدشده با روش شکل دهی پاششی
۳۱۱	فصل ۱: مواد ۱۲: سوزیت فلزهای قیمتی و غیر آهنی
۳۱۱	۱۲.۱ مقدمه
۳۱۱	۱۲.۲ مواد کامپوزیت لایه
۳۱۲	۱۲.۲.۱ بی مثال اساسی (کنتاکتی) و حرارتی
۳۱۴	۱۲.۲.۲ لایه های مواد در پایش با ذرات تعبیه شده سرامیکی
۳۱۶	۱۲.۳ کامپوزیتهای تقویت شده با ذرات
۳۱۹	۱۲.۴ کامپوزیت های نفوذی
۳۲۰	۱۲.۵ کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف
۳۲۵	مراجع
۳۲۵	فصل اول
۳۲۹	فصل دوم
۳۳۱	فصل سوم
۳۳۲	فصل چهارم
۳۳۳	فصل پنجم
۳۳۴	فصل ششم
۳۳۵	فصل هفتم
۳۴۰	فصل هشتم
۳۴۲	فصل نهم
۳۴۲	فصل دهم
۳۵۰	فصل یازدهم
۳۵۰	فصل دوازدهم

پیشگفتار

امروزه نمی توان کامپوزیتهای زمینه فلزی را از زندگی روزمره جدا فرض کرد. مصرف کننده های خصوصی از انواع سیستمهای مورد استفاده ایستاده می باشند و حتی می توان اظهار کرد که این موارد ناشناخته نیز می باشند. مثالهایی از این موارد شامل کاربردهای برای ماشینکاری مواد مختلف در مهندسی محصول، سیستمهای کامپوزیتی از فلزات نجیب در کشتیهای تفریحی و مکتوری انکریسیه، کنتینرهای نمرسی سس گرانیب برای ژنراتورها و موتورهای الکتریکی و سیستمهای بدتایی برای پوشهای ترمز در ترمزهای با سرعت بالا می باشد. پس از تلاشهای بسیاری که در سالهای اخیر در توسعه کامپوزیتهای زمینه فلزی با زمینه های از جنس فلزات سبک انجام گرفته است، کاربردهای موفقیت آمیز در مهندسی ترافیک، بخصوص تکنولوژی حمل و نقل و خودروسازی بدست آمده است. از کاربردهای جدید می توان برای مثال پیستونهای تقویت شده جزئی با الیاف و محفظه میل لنگ تقویت شده موتور کامیونها و خودروهای مسافری، دیسک ترمز تقویت شده با ذرات برای کامیونهای سبک، موتورسیکلتها، خودروهای مسافری و وسایل نقلیه برای سوار می شوند را نام برد. حوزه کاربردی پیش روی این مواد در حوزه نظامی و یا غیرنظامی هوافضا می باشد. این مواد نو، حائز توجه در ساخت مواد مدرن می باشند که بدلیل امکان توسعه MMCها با خواص ویژه می باشد. با پیشرفت کنونی در کامپوزیتهای زمینه فلزی می توان مشاهده کرد که این مواد بتوانند تمامی درخواستهای مهندسان طراحی را برآورده کنند، زیرا که می توان MMCها را بصورت سفارشی تولید کرد. MMCها مواد توسعه یافته مواد بنیادی و ساختمانی می باشند، در حالیکه پروفیل خواص مواد سنتی نمی تواند ملزومات ساختارهای با این مواد را برآورده کند. در صورت وجود رابطه معنادار بین هزینه و کیفیت در تولید کامپوزیتهای زمینه فلزی می توان از مزایای این مواد بهره مند شد. از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی این نکته حائز اهمیت می باشد که پسماندهای فرآیند، ضایعات و مواد قراضه از این مواد دوباره به چرخه مواد بازگردانده شود.

در حوزه ارتباطات و مهندسی انرژی، جایگزینی مواد ساختاری اصلی با مواد بنیادی بر پایه فلزات غیرآهنی و نجیب مورد توجه می باشد. برای مثال خواص الکتریکی و حرارتی خوب همراه با استحکام و مقاومت سایش بالا مورد تقاضا می باشد. اگرچه چندین سال می باشد که کامپوزیتهای زمینه فلزی در حوزه مواد تماسی مورد استفاده قرار می گیرند ولی به منظور بهینه سازی بیشتر، نیاز به بهره گیری از سیستمهای

مواد جدید یا اصلاح شده می‌باشد. در واحدهای الکتریکی و الکترونیکی (انباره حرارتی) انگیزه بالایی در استفاده از موادی می‌باشد که توانایی توزیع حرارت را دارا باشند. از جمله چالش‌های پیش روی صنعت، تاثیر دما بر مقاومت می‌باشد که بایستی مورد توجه قرار گیرد. در بسیاری از موارد، بهبود مقاومت سایشی منجر به توسعه سیستمهای مواد چندکاره می‌شود که مفید خواهد بود.

این کتاب یک نگاه کلی به موقعیت کنونی تحقیقات و توسعه در این زمینه و معرفی واقعی از این مواد در حوزه‌های کاربردی مختلف می‌پردازد. در کنار وجود دانش پایه در زمینه کامپوزیتهای زمینه فلزی و لزوم ایجاد سیستمای مواد مناسب و روشهای ساخت و تولید این مواد، حضور پتانسیل مواد و امکانات کاربردی آنها اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. این چکیده از سمینار آموزشی با همین نام که انجمن علم مواد آلمان از حدود سال ۱۹۰۰ ارائه داده است، برداشت شده است. بدلیل ویژگی مروری، این کتاب به مهندسان، دانشمندان و تکنیسینها در حوزه توسعه مواد تولید و طراحی آنها ارجاع داده شده است. اینجانب بعنوان ویراستار، از تمامی مؤلفان بخاطر تلاش برای تهیه این کتاب تشکر و قدردانی می‌نمایم. بر خود لازم میدانم از انتشارات Wiley-VCH، به نمایندگی دکتر Jörn Pitterhaus، برای پشتیبانی مالی و نظارت عالی، بخصوص در شرایط بحرانی تشکر کنم.

Gesthacht, December 2005

Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Ulrich Kainer