

مقدمه‌ای بر کامپوزیت‌های زمینه فلزی

پدیدآورنده

یوشینوری نیشیدا

استیتوی ملی علوم و فناوری پیشرفته صنعتی ژاپن

دکتر دانیل گان

علی مالانی

عضو هیأت علمی پژوهشکده فولاد

دانشگاه صنعتی اصفهان

ابوذر طاهری زاده

عضو هیأت علمی دانشکده مواد

دانشگاه صنعتی اصفهان

نازنین السادات حسینی

پژوهشگر پژوهشکده فولاد

دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه صنعتی اصفهان
مرکز نشر

شماره کتاب ۱۵۴

گروه فنی و مهندسی ۶۴

مقدمه‌ای بر کامپوزیت‌های زمینه فلزی

پدیدآورنده:	یوشینوری نیشیدا
برگرداندگان:	علی مالکی، ابوذّر طاهری زاده، نازنین السادات حسینی
ویراستار ادبی:	محبوبه شمس
صفحه آرا:	منا مرتضایی
طراح جلد:	مرضیه خردمند
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر:	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول:	تابستان ۱۳۹۶
شمارگان:	۵۰۰ جلد
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۸۲۵۷-۱۵-۸
قیمت:	۱۰۰۰۰۰ ریال

سرشناسه:	نیشیدا، یوشینوری Nishida, Yoshinori
عنوان و نام پدیدآور:	مقدمه‌ای بر کامپوزیت‌های زمینه فلزی / پدیدآورندگان یوشینوری نیشیدا؛ برگرداندگان علی مالکی، ابوذّر طاهری زاده، نازنین السادات حسینی.
مشخصات نشر:	اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری:	دوازده، ۲۶۰ ص.؛ جیبی، چادر، نمودار.
فروست:	دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر؛ ۱۵۴: گروه فنی و مهندسی؛ ۶۴.
شابک:	978-600-8257-15-8
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
یادداشت:	عنوان اصلی: Nishida, Yoshinori fukugozairyo nyumon
یادداشت:	کتاب حاضر از متن انگلیسی اثر تحت عنوان «Introduction to metal matrix composites: fabrication and recycling» به فارسی برگردانده شده است.
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	مواد چندسازه فلزی
موضوع:	Metallic composites
شناسه افزوده:	مالکی، علی، ۱۳۵۸ -، مترجم
شناسه افزوده:	طاهری زاده، ابوذّر، ۱۳۵۸ -، مترجم
شناسه افزوده:	حسینی، نازنین السادات، ۱۳۶۲ -، مترجم
شناسه افزوده:	دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر
رده بندی کنگره:	TA۴۸۱/۹۷۱۳۹۶
رده بندی دیویی:	۶۲۰/۱۶
شماره کتابشناسی ملی:	۴۸۵۰۰۹۶

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۴۱۱۱ تلفن: ۰۹-۳۳۹۱۲۵۰۹ (۰۳۱) دورنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ برای خرید اینترنتی کلیه کتاب‌های منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا مستقیماً از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۳۹۵۲) خریداری فرمایید.

پیشگفتار

تمامی مواد به کار رفته برای صنایع هوافضا، سیستم‌های تبدیل انرژی و حفاظت از محیط زیست، از حالت ارزیابی هستند و تقاضا برای مواد سبک، رو به افزایش است. فلزهای سبک، دارای برخی نواقص هستند، اما به منظور بهبود این نقاط ضعف، کامپوزیت‌های قوی و سبک از راه استحکام‌دهی فلزها و سبک‌سازی با رشته‌ها یا ذره‌های سرامیکی، گسترش یافته‌اند.

بیشتر مطالعه‌های انجام داده در زمینه کامپوزیت‌های زمینه فلزی، مربوط به ارزیابی ویژگی‌های کامپوزیت‌ها است و تعداد کمی به فرآیندهای ساخت می‌پردازند. به محض آن که کامپوزیت جدیدی گسترش می‌یافت پژوهش روی ارزیابی کامپوزیت، مورد استقبال زیادی قرار می‌گرفت. تعدادی پژوهش روی فرآیندهای ساخت انجام گرفته است، اما توضیح بسیاری از فرآیندهای ساخت به صورت اساسی رسیده، به، بسیار مشکل بود. نخست، کامپوزیت‌های زمینه فلزی مانند محصول‌های آلومینیومی تف‌چشمی شده و آلیاژهای پوتکتیک تقویت‌شده با فاز ثانویه که از راه انجماد جهت‌دار به دست آمدند، بدون اختلاط تقویت‌کننده‌ها درون فلزهای زمینه با روش‌های مکانیکی، گسترش یافتند. پس از گذر از روش‌های اختلاط که به وسیله آنها رشته‌ها یا ذره‌های سرامیکی در فلزهای زمینه توزیع می‌شدند، پژوهش روی ارزیابی آن کامپوزیت‌ها رونق زیادی گرفت و تعداد بسیاری مقاله در این ارتباط به چاپ رسید. بسیاری از این مطالعه‌ها روی رشته‌های پیوسته انجام شده است.

استحکام اتصال در فصل مشترک زمینه رشته و ویژگی‌های کامپوزیت‌ها، ارتباط تنگاتنگی با شرایط ساخت دارند. به این ترتیب، ضروری است تا تاریخچه مواد تشکیل‌دهنده در حین فرآیند ساخت، مورد توجه قرار گیرد و از این راه، قابلیت اعتماد به نتایج مربوط به ویژگی‌های کامپوزیت‌ها افزایش یابد. در یک حالت، هنگامی که یک کامپوزیت به صورت تجاری درمی‌آید، نخست به صورت یک شمش کامپوزیتی ساخته می‌شود و سپس یک محصول کامپوزیتی با استفاده از فرآیندهای مکانیکی مانند ماشین کاری، فرآیند تغییر شکل مومسان و یا ریخته‌گری، از شمش به دست می‌آید. در حالت دیگر، ساخت کامپوزیت و شکل‌دهی محصول کامپوزیتی، به صورت همزمان و طی یک فرآیند انجام می‌شود. حالت دوم نسبت به حالت

نخست، از نظر بهره‌وری تولید و انرژی، بهتر است. فرآیند ساخت، اهمیت بالایی برای کاربردهای صنعتی دارد. افزون بر این، با استفاده از تعیین شرایط بهینه تولید و کنترل این شرایط می‌توان به تولید بالا و قابل اطمینان محصول‌های کامپوزیتی دست یافت. این در حالی است که با فرآیند تولید، تنها به‌عنوان یک روش برخورد شده و به صورت علمی مورد بررسی قرار نگرفته است.

تاکنون بیشتر مطالب در زمینه کامپوزیت‌های زمینه فلزی، برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و پژوهش‌های حرفه‌ای نوشته شده است. این مطالب، بیشتر در ارتباط با موضوع مکانیک هستند که فهم آن برای دانشجویان رشته‌های دیگر آسان نیست. اکنون زمان آن رسیده است تا اجناسازی کامپوزیت‌های زمینه فلزی گسترش یابد. از این رو، نیاز به کتابی است که مقدمه‌ای کاربردی در مورد کامپوزیت‌های زمینه فلزی برای پژوهشگران و مهندسان صنعتی که در گسترش راد نوین، درگیر هستند، ارایه کند.

بنابراین این کتاب به سه بخش، نظام‌یافته برای توضیح آسان و قابل فهم فعالیت‌های پژوهشی انجام گرفته تاکنون و هم‌اکنون کمک به پژوهشگران در صنعت برای گسترش محصول‌های کامپوزیتی و پیشرفت‌های بیشتر در مورد کامپوزیت‌های زمینه فلزی، نوشته شد. بحث‌های موجود در این کتاب، به‌سادگی نوشته شده است تا علاقه بسیاری از مردم در مورد کامپوزیت‌های زمینه فلزی را به خود جلب دهد و فهم آن برای دانشجویان کارشناسی نیز مشکل نباشد. این کتاب، افزون بر فرایند و روش ساخت، دربرگیرنده ویژگی‌های کامپوزیت‌هاست و به صورت مقدمه‌ای بر کامپوزیت‌های زمینه فلزی، برای خوانندگانی که می‌خواهند اطلاعات بیشتری در مورد این موضوع به دست آورند، نوشته شده است.

دانش اساسی مورد نیاز برای فهم کامپوزیت‌های زمینه فلزی در فصل اول توضیح داده شده است. فرآیندهای ساخت اصلی، به جز فرآیند رخنه‌دهی فشاری از راه ریخته‌گری کوبشی و ریخته‌گری گریز از مرکز، در فصل دوم شرح داده شده‌اند. فرآیند ساخت از راه ریخته‌گری کوبشی، در فصل سوم ارایه شده است؛ چراکه این فرآیند از اهمیت بالایی برای درک پدیده ترشوندگی میان تقویت‌کننده و فلز مذاب، برخوردار است. تئوری رخنه‌دهی فشاری از راه ریخته‌گری کوبشی، در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفته است. ریخته‌گری گریز از مرکز کامپوزیت‌های زمینه فلزی، در فصل پنجم و ویژگی‌های کامپوزیت‌ها، در فصل ششم آورده شده است. ابرمومسانی کامپوزیت‌ها به‌عنوان یک موضوع جدید، در فصل هفتم معرفی شده است. فرآیندهای تولید مواد تقویت‌کننده برای به‌کارگیری در کامپوزیت‌ها، به‌طور خلاصه در فصل هشتم توضیح داده شده و ایده‌های اصلی برای بازیافت کامپوزیت‌ها، در فصل نهم مورد بحث قرار گرفته‌اند.

از دکتر توشیو یامااوجی^۱، همکارم در فرآیند رخنه‌دهی فشاری که بخش بسیار مهمی از فصل چهارم را به خود اختصاص داده است، قدردانی می‌کنم. از پروفسور شوچیرو اوچیاجی^۲ در دانشگاه کیوتو^۳ (شکل ۶-۱۵) و پروفسور سومیو ناگاتا^۴ در دانشگاه فوکووکا^۵ (شکل‌های ۳-۳، ۳-۴ و ۵-۳) به دلیل اجازه برای استفاده دوباره از شکل‌ها سپاسگزارم. مراتب قدردانی خود را از پروفسور یوتاکا کاکاوا^۶ از دانشگاه توکیو، پروفسور کارل یو کاینر^۷ از مرکز تحقیقاتی GKSS، پروفسور چیتوشی ماسودا^۸ و پروفسور ماکوتا یوشیدا^۹ از دانشگاه واسدا^{۱۰} برای بحث‌های بسیار سازنده‌شان ابراز می‌کنم.

این کتاب بر اساس نسخه ژاپنی کتاب اینجانب با عنوان Kinzokuki Fukugozaityo Nyumon^{۱۱} توسط کمپانی انتشارات کرونا^{۱۱} در توکیو به چاپ رسیده است، می‌باشد. بیشتر فایل‌های دیجیتالی^{۱۲} ساویرا^{۱۳} می، توسط این ناشر فراهم شده است.

آیچی^{۱۲}، ژاپن

یوشینوری نیشیدا^{۱۳}

۱-Toshio Yamauchi

۴-Sumio Nagata

۷-Karl U. Kainer

۱۰-Waseda University

۱۳-Yoshinori Nishida

۲-Shojiro Ochiai

۵-Fukuoka University

۸-Chitoshi Masuda

۱۱-Corona Publishing Co.

۳-Kyoto University

۶-Yutaka Kagawa

۹-Makoto Yoshida

۱۲-Aichi

پیشگفتار برگردانندگان

نیاز روز بروز برای دستیابی به مواد سبک وزن با استحکام بالا در صنایع و همچنین ضرورت حفاظت از محیط زیست، پژوهشگران را بر آن داشته است تا به مطالعه، ساخت و گسترش مواد کامپوزیتی، به ویژه کامپوزیت های زمینه فلزی روی آورند. در این راستا کتاب ها و مقاله های بسیاری در مورد روش های ساخت و ویژگی های کامپوزیت های زمینه فلزی به نگارش درآمده است که هر کدام اطلاعات مفیدی را در اختیار خوانندگان قرار می دهد. این در حالی است که کتاب های کمی با موضوع کامپوزیت های زمینه فلزی به زبان فارسی منتشر شده است. در کتاب "مقدمه ای بر کامپوزیت های زمینه فلزی"، مهم ترین مطالب مربوط به فرآوری و ویژگی های کامپوزیت های زمینه فلزی به زبانی گویا ارائه شده است. از این رو، این کتاب می تواند کمک شایانی به پژوهشگران و مهندسان برای پیشبرد اهدافشان در زمینه تولید و ساخت مواد پیشرفته کامپوزیتی که از سوی دیگر، مطالعه این کتاب می تواند در ارتقای سطح دانش فنی و علمی دانشجویان تحصیلات تکمیلی و کارشناسی مفید باشد.

تلاش شد تا حد امکان، مطالب به صورت روان و بدون اشکال ترجمه شود. با این حال هیچ کاری خالی از اشکال نیست. آرایه نظرهای خوانندگان و بیان اشکال ها و پیشنهادهای احتمالی از طریق آدرس پست الکترونیکی maleki110@cc.iut.ac.ir به طور حتم می تواند به بهتر شدن این کتاب در ویرایش های بعدی کمک کند.

برگردانندگان این کتاب، از مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان که بستری مناسب را برای انتشار آن فراهم کرد، کمال قدردانی را دارند. همچنین از همکاری و حمایت های همیشگی خانواده هایمان قدردانی می کنیم. در پایان، خداوند بزرگ را به واسطه عنایت های بی پایان، به ویژه توفیق برداشتن گامی هرچند کوچک در راستای اعتلای علمی این مرز و

بوم شکرگزار هستیم. امید است که انتشار این کتاب بتواند گامی مؤثر و کارآمد در جهت افزایش دانش پژوهشگران، مهندسان و دانشجویان در زمینه ساخت و ارزیابی کامپوزیت‌های زمینه فلزی بردارد.

علی مالکی

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی مکانیک

ابوذر طاهری‌زاده

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی مواد

نازنین السادات حسینی

پژوهشگر پژوهشکده فولاد

دانشگاه صنعتی اصفهان، تابستان ۱۳۹۶

www.ketab.ir

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱	چکیده	۱
۲	۱-۱ طبقه‌بندی و ویژگی‌های کامپوزیت‌ها	۲
۳	۱-۱-۱ طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها	۳
۴	۱-۱-۲ ویژگی‌های کامپوزیت‌های زمینه فلزی	۴
۵	۱-۱-۳ نمونه‌هایی از محسوس‌های کامپوزیت زمینه فلزی	۵
۵	۱-۳-۱-۱ کامپوزیت‌های زمینه آلیاژ آلومینیوم	۵
۱۱	۱-۳-۱-۲ کامپوزیت‌های زمینه مس	۱۱
۱۳	۲-۱ قانون مخلوط‌ها	۱۳
۱۴	۳-۱ انرژی سطحی و انرژی فصل مشترک	۱۴
۲۲	۴-۱ ترمودینامیک سطوح	۲۲
۲۴	۵-۱ ترشوندگی	۲۴
۳۰	۶-۱ قانون دارسی	۳۰
۳۴	منابع مورد استفاده	۳۴
۳۷	۲: فرآیندهای ساخت کامپوزیت‌ها	۳۷
۳۷	چکیده	۳۷
۳۷	۱-۲ جنبه‌هایی از ساخت کامپوزیت‌ها	۳۷
۳۷	۱-۲-۱ انرژی ساخت	۳۷
۴۲	۱-۲-۲ ساخت کامپوزیت‌ها با استفاده از روش‌های مکانیکی	۴۲
۴۳	۱-۲-۳ کار مکانیکی و ترشوندگی	۴۳
۴۵	۲-۲ طبقه‌بندی روش‌های ساخت	۴۵
۴۶	۳-۲ مقایسه روش‌های ساخت	۴۶
۴۷	۴-۲ ساخت حالت جامد	۴۷

۴۷	۱-۴-۲ روش های متالورژی پودر.....
۵۰	۲-۴-۲ آلیاژسازی مکانیکی.....
۵۲	۳-۴-۲ اتصال نفوذی.....
۵۴	۴-۴-۲ تفجوشی پلاسمای جرقه ای (SPS).....
۵۵	۵-۲ ساخت حالت مایع.....
۵۵	۱-۵-۲ روش اضافه کردن گردابی.....
۵۷	۲-۵-۲ ریخته گری کامپوزیتی.....
۵۹	۵-۲ فرآیند رخنه دهی بدون فشار.....
۶۰	۵-۲ رخنه دهی فراصوت.....
۶۲	۶-۲ ساخت حالت دانه.....
۶۲	۱-۶-۲ رسوب دی شیمیایی بخار.....
۶۴	۲-۶-۲ رسوب دی فیزیکی بخار.....
۶۴	۱-۲-۶-۲ کند و پس مارف.....
۶۴	۲-۲-۶-۲ کند و پاش پرتوی ال.....
۶۴	۷-۲ فرآیند ساخت درجا.....
۶۵	۱-۷-۲ فرآیند اکسیداسیون داخلی.....
۶۵	۲-۷-۲ فرآیند انجماد جهت دار.....
۶۷	منابع مورد استفاده.....
۷۱	۳. ساخت به روش ریخته گری کوبشی.....
۷۱	چکیده.....
۷۳	۱-۳ اعمال فشار و انرژی ساخت.....
۷۵	۲-۳ فشار آستانه.....
۷۵	۱-۲-۳ حالت توزیع تصادفی تقویت کننده.....
۷۷	۲-۲-۳ حالت توزیع هم جهت رشته.....
۷۷	۳-۲-۳ اندازه گیری فشار آستانه.....
۷۸	۳-۳ اثر پیش گرمایش پیش ساز.....
۸۲	۴-۳ آنالیز میکروسکوپی جریان سیال درون پیش ساز.....
۸۶	منابع مورد استفاده.....

۴: تئوری رخنه‌دهی فشاری ۸۹

چکیده ۸۹

۴-۱ آنالیز ماکروسکوپی جریان سیال درون پیش‌ساز ۸۹

۴-۱-۱ آنالیز بر پایه فرض فشار سطحی ثابت پیش‌ساز ۹۰

۴-۱-۲ مدل سرعت رخنه‌دهی ۹۴

۴-۱-۲-۱ فشار سطحی پیش‌ساز و موقعیت جبهه رخنه‌دهی ۹۷

۴-۱-۲-۲ رخنه‌دهی همراه با انجماد ۱۰۷

۴-۲ ساز و کار تصف رخنه‌دهی ۱۱۴

۴-۳ ویژگی‌های روش رخنه‌دهی فشاری و محصول‌های آن ۱۱۵

منابع مورد استفاده ۱۱۷

۵: ریخته‌گری گریز از مرکز کمپوزیت‌های زمینه فلزی ۱۱۹

چکیده ۱۱۹

۵-۱ رخنه‌دهی فلز مذاب با استفاده از نیروی گریز از مرکز ۱۱۹

۵-۱-۱ فشار ایجادشده در سطح پیش‌ساز ۱۲۰

۵-۱-۱-۱ حالت ۱ ۱۲۰

۵-۱-۱-۲ حالت ۲ ۱۲۲

۵-۱-۱-۳ حالت ۳ ۱۲۲

۵-۱-۲ فشار آغازین رخنه‌دهی ۱۲۳

۵-۱-۳ رخنه‌دهی فلز مذاب به درون پیش‌ساز ۱۲۴

۵-۱-۳-۱ حالت ۱ ۱۲۴

۵-۱-۳-۲ حالت ۲ ۱۲۶

۵-۱-۳-۳ حالت ۳ ۱۲۷

۵-۱-۴ محاسبه‌های نمونه ۱۲۸

۵-۱-۴-۱ حالت ۱ ۱۲۹

۵-۱-۴-۲ حالت ۲ ۱۳۱

۵-۱-۴-۳ حالت ۳ ۱۳۳

۵-۱-۵ نمونه‌هایی از کامپوزیت‌های ساخته‌شده با استفاده از نیروی گریز از مرکز ۱۳۵

۵-۲ ریخته‌گری گریز از مرکز فلز مذاب دارای ذره‌های پراکنده ۱۳۸

منابع مورد استفاده ۱۴۲

۶: ویژگی‌های کامپوزیت‌ها ۱۴۳

چکیده ۱۴۳

۱-۶ ویژگی‌های مکانیکی ۱۴۴

۱-۱-۶ مدول کشسانی ۱۴۴

۱-۲-۶ استحکام کامپوزیت‌ها ۱۵۲

۱-۱-۲-۶ عوامل مؤثر بر استحکام کامپوزیت ۱۵۲

۱-۲-۲-۶ توزیع استحکام رشته ۱۵۲

۱-۲-۳-۶ کامپوزیت‌های تقویت‌شده با رشته پیوسته ۱۵۶

۱-۲-۴-۶ کامپوزیت‌های تقویت‌شده با رشته ناپیوسته ۱۵۸

۱-۱-۵-۶ کامپوزیت‌های تقویت‌شده با ذره ۱۶۲

۱-۳-۶ شکست کامپوزیت ۱۶۴

۱-۳-۱-۶ تخریب آبایی ۱۶۶

۱-۳-۲-۶ تخریب از راه سرب ۱۶۸

۱-۳-۳-۶ تخریب از راه خستگی ۱۶۹

۲-۶ ویژگی‌های فیزیکی ۱۷۵

۱-۲-۶ چگالی ۱۷۵

۲-۲-۶ گرمای ویژه ۱۷۶

۳-۲-۶ رسانایی حرارتی ۱۷۷

۴-۲-۶ ضریب انبساط حرارتی ۱۸۰

۳-۶ فصل مشترک ۱۸۷

۴-۶ شیوه‌های نوین در کامپوزیت‌های زمینه فلزی ۱۸۸

۱-۴-۶ کامپوزیت‌های فلز/کربن با رسانایی حرارتی بالا ۱۸۸

۲-۴-۶ کامپوزیت‌های هوشمند ۱۸۹

منابع مورد استفاده ۱۹۱

۷: ابرمومسانی کامپوزیت‌ها ۱۹۵

چکیده ۱۹۵

۱-۷ پیش‌زمینه ابرمومسانی ۱۹۵

۲-۷ سازوکار شکل‌دهی ابرمومسان ۱۹۸

۱-۲-۷ سازوکار تغییر شکل ابرمومسان آلیاژها ۱۹۸

۲۰۰	۲-۲-۷ سازوکار تغییر شکل ابرمومسان کامپوزیت‌ها
۲۰۱	۳-۷ روش‌های تولید مواد ابرمومسان
۲۰۷	منابع مورد استفاده

۸: مواد لازم برای ساخت کامپوزیت

۲۰۹	چکیده
۲۰۹	۱-۸ مشخصه‌های تقویت‌کننده‌ها و فلزهای زمینه
۲۱۲	۲-۸ فرآیندهای تولید تقویت‌کننده‌ها
۲۱۲	۱-۲-۸ رزهای سرامیکی
۲۱۲	۲-۲-۸ ۱- ذره‌های کاربید سیلیسیم
۲۱۳	۲-۲-۸ ۲- ذرات آلومینا
۲۱۳	۲-۲-۸ ۳-۱- ذرات کربن
۲۱۴	۲-۲-۸ ۴-۱- ذره‌های نیتريد آلومینوم
۲۱۴	۲-۲-۸ ۵-۱- ذره‌های نیتريد سیلیسیم
۲۱۴	۲-۲-۸ رشته‌های سرامیکی و رشته‌های کربنی
۲۱۶	۱-۲-۲-۸ رشته‌های آلومینا
۲۱۸	۲-۲-۲-۸ کاربید سیلیسیم و رشته‌های مرتبط
۲۲۰	۳-۲-۲-۸ رشته‌های کربنی
۲۲۳	۳-۲-۸ ویسکرهاي سرامیکی
۲۲۴	۱-۳-۲-۸ ویسکرهاي کاربید سیلیسیم
۲۲۵	۲-۳-۲-۸ ویسکرهاي نیتريد سیلیسیم
۲۲۶	۳-۳-۲-۸ ویسکرهاي تیتانات پتاسیم
۲۲۶	۴-۳-۲-۸ ویسکرهاي بورایت آلومینیوم
۲۲۸	منابع مورد استفاده

۹: بازیافت کامپوزیت‌ها

۲۳۱	چکیده
۲۳۲	۱-۹ نسبت کامپوزیت در محصول‌ها و ذوب دوباره
۲۳۳	۲-۹ جدایش ذره‌ها یا رشته‌ها
۲۳۳	۱-۲-۹ حالت کامپوزیت‌ها
۲۳۷	۲-۲-۹ جدایش مکانیکی تقویت‌کننده‌ها

۲۳۹.....	۳-۲-۹ جدایش شیمیایی تقویت کننده‌ها
۲۴۲.....	۳-۹ جدایش رشته و فلز از کامپوزیت‌ها
۲۴۲.....	۱-۳-۹ روش شیمیایی و نسبت جدایش
۲۴۶.....	۲-۳-۹ پدیده‌های همراه با جدایش با استفاده از فلاکس
۲۴۹.....	۴-۹ آنژیوپاتی اختلاط در اثر افزودن ذره‌های تقویت کننده
۲۵۰.....	۱-۴-۹ آنژیوپاتی اختلاط
۲۵۱.....	۲-۴-۹ افزایش آنژیوپاتی در اثر افزودن ذره‌ها
۲۵۵.....	۵-۹ ارزیابی کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۲۵۶.....	منابع مورد استفاده
۲۵۷.....	واژه‌یاب