

بِسْمِ

اللَّهِ الرَّحْمَنِ

الرَّحِيمِ

بسمه تعالی



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محمد تقی نجفی معتمد میشوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

تهران - لویزان - کدپستی - 16788 - صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ - تلفن ۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷) نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونی

sru@sru.ac.ir



بررسی تجربی مکانیک شکست در مواد مرکب زمینه آلومینیومی حاوی ۱۵ درصد وزنی ذرات کاربید سیلیسیم

نگارش

محمد تقی نجفی

استاد راهنما: دکتر محمد رنجبران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

شهریور ۱۳۹۰

۲۸

چکیده

در این تحقیق چقرمگی شکست کامپوزیت A۳۵۶ حاوی ۱۵ درصد از ذرات کاربید سیلیسیم مورد بررسی قرار گرفته است. کامپوزیتهای آلومینیم- کربیدسیلیسیم به دلیل خواص سایشی و مکانیکی مناسب مورد توجه هستند. یکی از نقاط ضعف این کامپوزیتهای پائین بودن چقرمگی شکست آنها نسبت به آلیاژهای آلومینیوم است. برای انجام این تحقیق ابتدا A۳۵۶ در کوره مقاومتی، ذوب و در داخل قالب فلزی ریخته گری شد و سپس کامپوزیت آلومینیم- کربید سیلیسیم به روش ذوب در کوره الکتریکی در حضور گاز خنثی و همزدن مذاب جهت جلوگیری از پدیده جدایش ذرات کاربید سیلیسیم و ریخته گری در قالب فلزی تهیه گردید. از شمشهای بدست آمده نمونه های جهت اندازه گیری آزمون چقرمگی شکست مطابق با استاندارد ASTM (استاندارد انجمن تست مواد آمریکا) با شماره E۳۹۸ آماده و چقرمگی نمونه ها اندازه گیری و با هم مقایسه شده است مقدار رشد ترک در اثر بار اعمالی جهت بررسی چقرمگی شکست در این تحقیق در نظر گرفته شده است. (KIC) یا فاکتور چقرمگی شکست کامپوزیت و آلیاژ اصلی محاسبه و با هم مقایسه شد. در این تحقیق مشخص گردید چقرمگی شکست نمونه های کامپوزیتی به میزان قابل توجه کاهش یافته است. ضمن بررسی ریز ساختار حضور حفره های گازی، آخلها و ترکها که عامل اصلی کاهش چقرمگی شکست بوده است. در این تحقیق این باور وجود دارد که با کنترل رشد ترک می توان چقرمگی را کنترل کرد.

واژه های کلیدی: مکانیک شکست، چقرمگی، مواد مرکب، زمینه، تقویت کننده

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر منابع

۱-۲- مقدمه ای بر پدیده شکست ۳

۲-۲- بررسی نظریه های پیرامون موضوع تحقیق ۳

۱-۲-۲- تئوری گریفیث ۳

۲-۲-۲- تئوری زنرو اشترو ۳

۳-۲-۲- تئوری کاترل ۴

۳-۲- مکانیسم شکست ۵

۴-۲- انواع شکست ۷

۱-۴-۲- شکست آرام ۷

۲-۴-۲- شکست ناگهانی ۸

۳-۴-۲- تسلیم عمومی و تغییر شکل پلاستیک ۱۰

۵-۴-۲- ناپایداری پلاستیک ۱۲

۶-۴-۲- شکست در اثر کمانش ۱۳

۷-۴-۲- شکست ناشی از خستگی ۱۳

۱-۷-۴-۲- شروع ترک ۱۳

۲-۷-۴-۲- مرحله ۱ رشد ترک ۱۴

فهرست مطالب

۱۴.....	۲-۴-۷-۳ مرحله ۲ رشد ترک
۱۵.....	۲-۴-۸- شکست ناشی از خوردگی
۱۵.....	۲-۴-۹- ایجاد شکست ناشی از خوردگی تنشی
۱۵.....	۲-۴-۱۰- شکست ناشی از خزش
۱۶.....	۲-۵- چقرمگی
۱۸.....	۲-۶- کامپوزیت
۲۲.....	۲-۶-۱- کامپوزیت های زمینه فلزی
۲۲.....	۲-۶-۲- کامپوزیت های زمینه سرامیکی
۲۳.....	۲-۶-۳- کامپوزیت های زمینه پلیمری
۲۴.....	۲-۷- مواد زمینه در کامپوزیتهای فلزی
۲۴.....	۲-۷-۱- نقش مواد مورد استفاده در زمینه
۲۵.....	۲-۷-۲- شکل های مواد زمینه
۲۵.....	۲-۷-۳- انواع مواد زمینه
۲۶.....	۲-۷-۳-۱- آلومینیوم
۲۷.....	۲-۸- مواد تقویت کننده
۲۸.....	۲-۸-۱- نقش ذرات تقویت کننده
۲۹.....	۲-۸-۲- ماهیت استحکام بخشی ذرات تقویت کننده
۳۰.....	۲-۹- فصل مشترک
۳۱.....	۲-۱۰- ماهیت کریستالوگرافی فصل مشترک

فهرست مطالب

۳۲	۱۱-۲- ترشوندگی
۳۳	۱۲-۲- انواع پیوندها در فصل مشترک
۳۴	۱-۱۲-۲- پیوند مکانیکی
۳۶	۲-۱۲-۲- پیوند شیمیایی
۳۸	۱۳-۲- مکانیزمهای استحکام بخشی
۳۸	۱-۱۳-۲- استحکام بخشی مستقیم
۳۹	۲-۱۳-۲- استحکام بخشی غیر مستقیم
۳۹	۱۴-۲- معیارهای گسسته شدن رشته و زمینه و انحراف ترک در فصل مشترک
۳۹	۱۵-۲- اندازه گیری رشد ترک
۴۰	۱-۱۵-۲- روش های اپتیکی (نوری)
۴۱	۲-۱۵-۲- روش های پتانسیل الکتریکی
۴۲	۳-۱۵-۲- روش فراصوتی
۴۴	۴-۱۵-۲- روش نشر صوتی
۴۵	۵-۱۵-۲- روش فتوالاستیک

فصل سوم : روش تحقیق

۴۷	۱-۳- مقدمه
۴۷	۲-۳- فرایند تحقیق
۴۷	۱-۲-۳- مواد خام و اقدامات اولیه
۵۰	۲-۲-۳- روش اول تعیین ضخامت نمونه تست چقرمگی

فهرست مطالب

۵۲.....	۳-۲-۳-روش دوم تعیین ضخامت نمونه تست چقرمگی.....
۵۴.....	۳-۲-۴-ساخت قالب فلزی جهت ریخته گری نمونه های تست کشش.....
۵۴.....	۳-۲-۵-تهیه کوره الکتریکی.....
۵۵.....	۳-۳-روش تولید کامپوزیت.....
۵۶.....	۳-۳-۱-توزیع ذرات کاربرد سیلیسیم در کامپوزیت های ریختگی.....
۵۶.....	۳-۳-۲- محاسن حاصل از مخلوط کردن دو مرحله ای.....
۵۸.....	۳-۴- ساخت قالب جهت ریخته گری نمونه های تست چقرمگی.....
۵۹.....	۳-۵- دستگاه کشش.....
۶۰.....	۳-۶- معادلات مورد استفاده.....

فصل چهارم: بحث و تحلیل ها

۶۱.....	۴-۱- آماده سازی نمونه ها و مطالعات ریز ساختاری.....
۶۸.....	۴-۲- نتایج حاصل از شکست نمونه های کامپوزیتی.....
۶۹.....	۴-۳- نتایج حاصل از شکست نمونه های A۳۵۶.....
۷۰.....	۴-۴- نتایج چقرمگی شکست نمونه های A ۳۵۶.....
۷۰.....	۴-۵- نتایج چقرمگی شکست نمونه های کامپوزیتی.....

فصل پنجم: نتایج و پیشنهاد

۷۱.....	۵-۱- نتایج.....
۷۱.....	۵-۲- نتیجه گیری.....
۷۱.....	۵-۳- پیشنهاد.....

فهرست جدا اول

- جدول ۱-۲- تنشهای بحرانی عمود بر صفحات کریستالی معین در چند تک کریستال برای شکست داده شده ۹
- جدول ۲-۲- تعدادی از کامپوزیتهای ذره ای زمینه فلزی با ذرات غیر فلزی و روش های مورد استفاده برای ساخت ۱۹
- جدول ۳-۱ ترکیب شیمیائی آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ مورد استفاده در تحقیق ۴۸
- جدول ۳-۲ نتایج حاصل از آزمون کشش ۵۱
- جدول ۳-۳ تعیین ضخامت نمونه آزمون چقرمگی توصیه شده توسط ASTM ۵۱
- جدول ۴-۱ مقایسه مقدار نیروی کشش لازم جهت شکست نمونه های کامپوزیتی ۶۸
- جدول ۴-۲ مقایسه مقدار نیروی کشش لازم جهت شکست نمونه های A۳۵۶ ۶۹
- جدول ۴-۳ نتایج حاصل از آزمایش چقرمگی شکست A۳۵۶ ۷۰
- جدول ۴-۴ نتایج حاصل از آزمایش چقرمگی شکست کامپوزیت ۷۱

فهرست ۱ شکال

- شکل ۱-۲ مکانیزم ایجاد ترک از طریق نابجاییها . الف) تجمع نابجاییها در پشت مرزدانه ها (Zener)
ب) تلاقی نابجاییها (Cottrell)..... ۴
شکل ۲-۲ - ایجاد حفرات بین ذره ای در کامپوزیت های آلومینیوم/کاربید سیلیسیم در درجه حرارت های بالا..... ۵
شکل ۲-۳- شکست ذرات در کامپوزیت و ایجاد حفره در داخل ذرات شکسته شده در دمای محیط ۶
شکل ۲-۴ شماتیک گسترش ترک ۷
شکل ۲-۵ مراحل مختلف شکست نرم در یک فلز انعطاف پذیر..... ۸
شکل ۲-۶ ترک داخلی در ناحیه نازک شده در نمونه کششی مس با خلوص بالا ۸
شکل ۲-۷ دو نوع شکست ترد شکل (الف) و نرم شکل (ب) را می توان ملاحظه نمود ۱۰
شکل ۲-۸ لغزش در یک بلور..... ۱۱
شکل ۲-۹ رابطه بین صفحه لغزش ،جهت لغزش و محور بار کششی در یک تک بلور ۱۱
شکل ۲-۱۰ تغییرات مقاومت دانه ها و مرز دانه ها با درجه حرارت ،(الف) شکست درون دانه ای (ب) شکست بین دانه ای ۱۲
شکل ۲-۱۱ شکست در اثر کماتش یک سطح تحت تنش فشاری و یک سطح تحت تنش کششی ۱۳
شکل ۲-۱۲ نمودار تنش - کرنش مربوط به یک نمونه فولادی ۱۸
شکل ۲-۱۳ منحنی تنش - کرنش مهندسی در دماهای مختلف ۲۹
شکل ۲-۱۴ کاهش استحکام تسلیم در اثر افزایش درجه حرارت ۳۰
شکل ۲-۱۵ زاویه تماس θ مقیاسی برای ترشوندگی ۳۲
شکل ۲-۱۶ انتقال بار از الو مینیوم به الو مینا در فصل مشترک ۳۵

فهرست ۱ اشکال

- شکل ۲-۱۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی از فصل مشترک در کامپوزیت Mg/Al_2O_3 ۳۷
- شکل ۲-۱۸ نصب یک سیستم اندازه گیری نوری برای اندازه گیری رشد ترک ۴۰
- شکل ۲-۱۹ طرز نصب افت پتانسیل جریان مستقیم..... ۴۱
- شکل ۲-۲۰ طرز نصب افت پتانسیل جریان متناوب..... ۴۲
- شکل ۲-۲۱ نمائی از روش فرا صوتی (الف) روش A(ب) مجموعه بکار رفته برای اندازه گیری رشد ترک در نمونه CT..... ۴۳
- شکل ۲-۲۲ مجموعه بکار رفته برای اندازه گیری رشد ترک به روش نشر صوتی ۴۴
- شکل ۲-۲۳ پلاریسکوپ دایره ای..... ۴۶
- شکل ۳-۱ تصویر SEM از کاربرد سیلیسیم مورد استفاده در تحقیق ۴۸
- شکل ۳-۲ مشخصات ذرات مورد استفاده در تحقیق..... ۴۹
- شکل ۳-۳ اندازه های لازم جهت تهیه نمونه کشش ۵۰
- شکل ۳-۴ نمونه های آزمون کشش..... ۵۰
- شکل ۳-۵ اندازه های انتخاب شده جهت آزمایش..... ۵۲
- شکل ۳-۶ نمونه های که می توان در آزمایش تست چقرمگی مورد استفاده قرار گیرد (مطابق استاندارد ASTM)..... ۵۳
- شکل ۳-۷ شماتیک قالب فلزی ساخته شده برای ریخته گری تست کشش..... ۵۴
- شکل ۳-۸ نمای کوره مقاومتی مورد استفاده در تحقیق..... ۵۵
- شکل ۳-۹ کوره الکتریکی و همزن مورد استفاده همراه با دمش گاز خنثی..... ۵۵
- شکل ۳-۱۰ همزدن کامپوزیت مذاب به منظور کاهش ته نشینی ذرات تقویت کننده..... ۵۷
- شکل ۳-۱۱ تصویر قالب تهیه شده جهت ریخته گری نمونه ها..... ۵۸

فهرست ۱ شکال

- شکل ۳-۱۲ شمش کامپوزیتی ریخته گری شده ۵۸
- شکل ۳-۱۳ تصویر نمونه کامپوزیت جهت انجام آزمایش چقرمگی شکست ۵۹
- شکل ۳-۱۴ نمونه تهیه شده در داخل فیکسچر قرار گرفته است ۶۰
- شکل ۳-۱۵ نمونه تهیه شده در داخل فیکسچر قرار گرفته و کل مجموعه در داخل دستگاه کشش ۶۰
- شکل ۴-۱ تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی $400\times$ از نحوه توزیع ذرات کاربید سیلیسیم در داخل کامپوزیت ۶۱
- شکل ۴-۲ تصویر از سطح شکست نشان دهنده حفرهای گازی ۶۲
- شکل ۴-۳ تصویر از سطح شکست نشان دهنده حفره انقباضی ۶۲
- شکل ۴-۴ تصویر سطح شکست نشان می دهد ذرات بخوبی توسط الومینیوم تر نشده ۶۳
- شکل ۴-۵ تصویر از سطح شکست نشان دهنده حضور ناخالصی در زمینه ۶۳
- شکل ۴-۶ تصویر از سطح نمونه نشان دهنده شیارهای ریز ۶۴
- شکل ۴-۷ طیف نگاری اشعه X در آنالیز به روش WDS از منطقه ۱ ۶۵
- شکل ۴-۸ طیف نگاری اشعه X در آنالیز به روش WDS از منطقه ۲ ۶۶
- شکل ۴-۹ طیف نگاری اشعه X در آنالیز به روش WDS از منطقه ۳ ۶۷
- شکل ۴-۱۰ نمودارهای حاصل از کشش نمونه های کامپوزیتی ۶۸
- شکل ۴-۱۱ نمودارهای حاصل از کشش نمونه های A۳۵۶ ۶۹

امروزه خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب همراه با سبکی وزن مورد توجه محققین و مصرف کنندگان قطعات مهندسی قرار دارد. در این خصوص کامپوزیت‌های زمینه فلزی که فاز زمینه از آلیاژهای آلومینیوم تهیه می‌شوند می‌توانند چنین مزایایی را به خوبی ارائه کنند. کاربرد سیلیسیم بدلیل ضریب انبساط حرارتی کم، دارا بودن ویژگی تر شوندگی مناسب با برخی از آلیاژهای آلومینیوم و قیمت ارزان بعنوان یکی از تقویت کننده‌های عمده در تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی مورد توجه قرار گرفته است. کامپوزیت‌های آلومینیوم- کاربرد سیلیسیم دارای خواص مطلوبی از جمله استحکام، سفتی، سختی و مقاومت به سایش عالی هستند. البته این خواص در ازاء کاهش انعطاف پذیری و چقرمگی شکست حاصل می‌گردد [۱][۲]

مکانیک شکست بر روی این فرضیه بنیان نهاده شده که تمام مواد دارای نقص‌های شبه ترک بوده و این هسته اولیه آغاز شکست در قطعه می‌باشد. هدف اصلی مکانیک شکست در جایی که ترک وجود داشته باشد، مطالعه ظرفیت تحمل نیرو می‌باشد. برای سنجش توانائی جسمی که به طور کامل سالم نیست و دارای ترک و میکرو ترک است از آزمایش چقرمگی شکست (KIC) استفاده می‌شود. چقرمگی شکست به رفتار مکانیکی مواد مانند ترک و عیوب ریز موجود در سطح و در داخل قطعه بستگی دارد و این آزمایش می‌تواند مبنائی برای استفاده از قطعاتی که در صنعت استفاده می‌شود قرار گیرد و یا از قطعات در مکان‌هایی که احتمال شکست و ایجاد خسارت وجود دارد استفاده نشود. [۳]

اندازه گیری چقرمگی شکست در انواع کامپوزیت‌های زمینه فلزی گام مهمی در مراحل تولید محصولات قابل استفاده و همچنین معیاری برای افزایش عملکرد کامپوزیتها می‌باشد. اندازه گیری چقرمگی شکست (KIC) موقعی معتبر است که شرایط کشش طوری باشد که اندازه پلاستیسیته نوک ترک در مقایسه با ابعاد نمونه و اندازه ترک کوچک باشد. و سرعت اعمال نیروی کشش در حد بسیار پایین انتخاب گردد. [۴]

پیچیدگی ساختمان میکروسکپی کامپوزیت‌های زمینه فلزی تشخیص رفتار مکانیکی و اندازه گیری چقرمگی شکست را با مشکل روبرو کرده است. پیچیدگی میکروسکپی به خاطر حجم بالای آخالها، حفره‌ها و مواد زائد موجود در زمینه می‌باشد و برای بدست آوردن یک کامپوزیت با چقرمگی بالا نیاز به انتخاب درست اجزاء تشکیل دهنده کامپوزیت همراه با ایجاد شرایط مناسب جهت تولید قطعات می‌باشد.

ارسنال و شی چقرمگی شکست کامپوزیت آلیاژ آلومینیوم ۲۰۸۰ حاوی کسر حجمی و اندازه‌های مختلف ذرات را مورد بررسی و نشان دادند که چقرمگی کامپوزیت با افزایش کسر حجمی ذرات کاهش می‌یابد [۵]

کامات و همکاران نیز تاثیر اندازه ذره بر چقرمگی کامپوزیت آلومینیوم ۲۰۸۰ تقویت شده با ذرات اکسید آلومینیوم را در دو کسر حجمی ۱۰ و ۲۰ درصد و اندازه ذره ۵ تا ۵۰ میکرو متر مطالعه نمودند. فرضیه آنها در مورد ذرات با اندازه بزرگ تر از ۱۵ میکرومتر آن است که شکست ذرات سبب رشد ناپایدار ترک و کاهش شدید چقرمگی ترک می‌شود و در ذرات با قطر کمتر، جدا شدگی فصل مشترک ذره از زمینه رخ می‌دهد. از آنجایی که وجود میکرو ترکهای ریز در نقاط مختلف ماده و از جمله نزدیک فصل مشترک، منشأ خرابی و شکست در این کامپوزیتها می‌باشد در این مطالعه برای بررسی شکست، ترک مصنوعی در قطعه ایجاد و پدیده شکست بررسی شد. [۵]

1. (COD) برای اولین بار جهت بررسی چقرمگی شکست در کامپوزیتهای آلومینیوم-کاربید سیلیسیم در این تحقیق در نظر گرفته شده است و با محاسبه (K_{IC}) یا فاکتور شکست چقرمگی شکست کامپوزیت با آلیاژ اصلی مقایسه می شود. مطالعه چقرمگی شکست کامپوزیت A356 این امکان را برای ما به وجود می آورد تا از این کامپوزیت در محلهایی که توانایی تحمل بار دارند استفاده شود و ضمن بررسی عوامل کاهش چقرمگی شکست بتوان در تحقیقات آینده این نقایص را برطرف نمود.

۲-۱- مقدمه ای بر پدیده شکست

جدا شدن موضعی جسم به دو قطعه (یا بیشتر) تحت اثر بار اعمالی را شکست می گویند. معیارهای سنتی و متداول شکست غالباً قادر نیستند به صورت کامل اکثر موارد شکست سازه ای و قطعات در تنشهای خیلی کمتر از مقاومت نهایی را توجیه کنند. نمونه ای از آن شکستی است که در داخل پلها، مخازن، لوله ها، جنگ افزارها، کشتی ها، راه آهن و سازه های هوا فضا اتفاق می افتد. از طرف دیگر آزمایشات گریفیت در سال ۱۹۲۱ میلادی روی الیاف شیشه ای به این نتیجه گیری انجامید که مقاومت واقعی مواد خیلی کمتر از مقاومت نظری آنها می باشد. به منظور توضیح این پدیده ها، مبحث مکانیک شکست مطرح گردید. مکانیک شکست بر روی این فرضیه بنیان نهاده شده که تمام مواد دارای نقص های شبه ترک بوده و این هسته اولیه آغاز شکست در قطعه می باشد. یکی از اهداف مکانیک شکست در جایی که یک ترک وجود داشته باشد، مطالعه ظرفیت تحمل بار توسط قطعه می باشد. از آنجایی که قطعه ای بدون نقص نمی تواند ساخته شود، طراحی ایمن جهت استفاده از قطعات باید از دو طریق انجام شود. [۶]

۱- یا نیروی مکانیکی ایمن باید در جایی که یک ترک با اندازه مشخص فرض می شود در قطعه وجود داشته باشد.

۲- یا اندازه ترکی که در قطعه ایجاد می شود با نیروی کار مشخص باید محاسبه گردد. [۱۴]

۲-۲- بررسی نظریه های پیرامون موضوع تحقیق

۲-۲-۱- تئوری گریفیت

او چنین بیان می کند. در ماده ای که حاوی تعدادی ترک بسیار ریز با طول معینی است، همین که مقدار تنش متمرکز در نوک ترک، حداقل به مقدار تنش لازم برای گسستن پیوندهای اتمی در آن موضع (استحکام کششی) رسید، شکست ظاهر میشود. با پیشرفت ترک، سطح ترک افزایش می یابد. این مطلب بدین معنی است که برای ایجاد این سطح ترک باید انرژی به کار برده شود. این مقدار انرژی از انرژی تغییر شکل کسب می شود. بنابراین فرضیه گریفیت علت پدیدار گشتن شکست ناگهانی را وجود ترکها و خراشهای سطحی بسیار ریز (با اندازه بحرانی) و پائین بودن استحکام را در آن مواضع می داند. اما مواردی هم وجود دارد که بدون داشتن ترکهای سطحی بسیار ریز شکست ناگهانی در آنها پدیدار می شود. بنابراین در این گونه مواد هم باید فعل و انفعالاتی صورت گیرد که موجب به وجود آمدن تمرکز تنش و فراتر رفتن موضعی مقدار تنش از استحکام کششی و در نتیجه ایجاد منشا ترک شود [۷]

۲-۲-۲- تئوری زنر و اشترو

تئوری زنر و اشترو مکانیزم این فعل و انفعالات را چنین بیان داشتند که در حین تغییر شکل پلاستیکی نابجاییها در پشت موانع (مانند مرز دانه ها و مرز مشترک د و قلوای ها) تجمع یافته و بدین ترتیب در زیر نیم صفحه های مربوط به این نابجاییها ترکهای بسیار ریزی

ایجاد می شود. این ترکهای بسیار ریزهمچنین می تواند محللهای مناسبی برای نفوذ عناصری مانند اکسیژن ، ازت و کربن در آنها و ایجاد فازهای ثانویه ترد و در نتیجه شکست ناگهانی باشند. چنین رفتار شکست در مس با وجود عناصری مانند آنتیموان و آهن همراه با اکسیژن مشاهده شده است. [۸]

۲-۲-۳- تئوری کاترل

کاترل مکانیزم دیگری را برای ایجاد منشاء ترک ارائه کرد. بدین صورت که منشاء ترک های ریز می تواند در اثر تلاقی دو صفحه لغزش با یکدیگر ، در نتیجه در هم آمیختن نابجائی ها در محل تلاقی آن دو صفحه و ایجاد نابجائی های جدید ، ناشی شود . این موضوع در شکل ۱-۲ نشان داده شده است . این مکانیزم میتواند دلیلی برای ایجاد سطح شکست (صفحه کلیواژ) مشاهده شده در صفحه (۰۰۱) در فلزات با ساختار کریستالی مکعب مرکز دار (bcc) باشد. کاترل ، تنش جلوی نابجایی ها را که در مرز دانه تجمع یافته بودند محاسبه نمود . وی دریافت طول نابجایی های تجمع یافته ، وابسته به اندازه ی دانه d است . وقتی که تنش تولید شده در اثر تجمع نابجایی ها در دانه مجاور به میزان کافی برای فعال کردن منابع فرانک - رید برسد ، تسلیم در مرز دانه اتفاق می افتد و این تسلیم در کل ماده رخ می دهد . با توجه به تئوری کاترل ، در اندازه دانه های بسیار ریز (کمی بیشتر از اندازه دانه ی بحرانی) برای رسیدن به استحکام تئوری ماده ، نیاز به تجمع تعداد زیادی نابجایی در مرز دانه هاست تا بتوان منابع فرانک رید را در دانه ی مجاور فعال نمود .

شکل ۱-۲ مکانیزم ایجاد ترک از طریق نابجاییها . الف) تجمع نابجاییها در پشت مرز دانه ها (Zener)
ب) تلاقی نابجاییها (Cottrell)

در فلزات چندین کریستالی شکست ناگهانی میتواند به صورت برون دانه ای (بین دانه ای) و یا درون دانه ای باشد . شکست برون دانه ای در بین دانه ها در امتداد مرز دانه ها ظاهر می شود. دلیل این نوع شکست بیشتر میتواند وجود ناخالصیها، جدایش ، رسوب عناصر و فازهای ترد و شکننده در امتداد مرز دانه ها باشد. شکست ناگهانی در فلزات بیشتر به صورت درون دانه ای است . بدین ترتیب

که ترک در داخل دانه ها گسترش می یابد. درجه حرارت و سرعت تغییر شکل تاثیر مخالفی بر روی نوع شکست خواهد داشت. به طوری که با کاهش درجه حرارت و ازدیاد سرعت تغییر شکل، تمایل برای شکست ناگهانی به صورت درون دانه ای در حین خزش در نتیجه تغییرات شیمیائی در اثر اکسیداسیون ممکن خواهد بود. چنانچه اکسیداسیون برون دانه ای در فلزات صورت گیرد، تنش شکست کاهش می یابد. [۷]

۲-۳- مکانیزم شکست

عملاً تنش لازم برای شکست مواد فلزی به اندازه قابل توجهی کمتر از تنش شکست محاسبه شده از طریق تئوری است. بنابراین فعل و انفعال شکست نمیتواند از طریق گسستن همزمان تمامی پیوند های اتمی در امتداد سطح شکست صورت گیرد. بدین ترتیب فعل و انفعالات شکست عملاً بیشتر از طریق ایجاد یک ترک بسیار ریز به عنوان منشا ترک و رشد و پیشروی آن انجام میگردد. برای پیشروی ترک در یک ماده لازم است مقدار تنش متمرکز در نوک ترک از استحکام کششی در آن موضع فراتر رود. در مواردی که شرایط برای پیشروی منشا ترک مساعد نیست ترک می تواند متوقف گشته و شکست پدیدار نشود [۹] چنانچه در جسمی ترک وجود داشته باشد، در این صورت استحکام آن جسم استحکامی نیست که از طریق آزمایش کشش به دست آید، بلکه میزان آن کمتر است. در این صورت مسئله ترک و رشد آن اهمیت پیدا می کند. تحقیقات انجام شده در زمینه شکست کامپوزیت های آلومینیوم/ کاربید سیلیسیم در درجه حرارت بالا، نشان داده است که مکانیزم شکست غالب در دمای بالا، جوانه زنی حفرات و مک ها در فصل مشترک ذرات و زمینه و بهم پیوستن آن ها می باشد. با افزایش درجه حرارت تنش سیلان زمینه کاهش می یابد، که در این حالت تمام تنش اعمالی تقریباً توسط زمینه تحمل می گردد و نیرویی که به فصل مشترک ذرات و زمینه وارد می گردد از استحکام فصل مشترک بیشتر شده و باعث جوانه زنی حفره در فصل مشترک می گردد. مشاهدات ریزساختاری نشان داده است که با افزایش درجه حرارت مقدار این حفرات در فصل مشترک افزایش می یابد. همچنین مشخص شده است که مستعدترین مکان برای جوانه زنی حفرات در فصل مشترک، انتهای ذرات می باشد. زیرا زمینه مجاور انتهای ذرات، به دلیل اینکه ممانعت های ذرات همسایه در هنگام تغییر شکل آزاد است، منطقه ای با کرنش بالا است که قابلیت جوانه زنی حفرات را دارا می باشد. شکل ۲-۲ به طور ساده مراحل بوجود آمدن یک حفره را در انتهای ذرات همسایه را نشان می دهد.



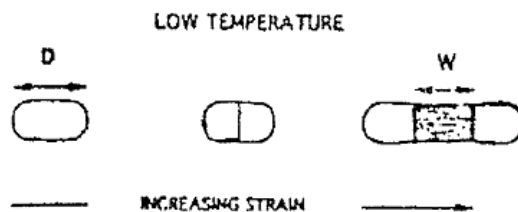
شکل ۲-۲- ایجاد حفرات بین ذره ای در کامپوزیت های آلومینیوم/کاربید سیلیسیم در درجه حرارت های بالا

در سال های اخیر تحقیقات نسبتاً وسیعی در زمینه شکست کامپوزیت های آلومینیوم / کاربید سیلیسیم انجام شده است . بر اساس این بررسی ها مشخص شده است که شکست این کامپوزیت ها در دمای محیط بر اساس مکانیزم شکست ذرات و یا پارگی فصل مشترک صورت می گیرد . در عمل ممکن است هر دو این مکانیزم ها به طور همزمان در شکست کامپوزیت نقش داشته باشند ولی همواره یکی از آن ها به عنوان مکانیزم غالب می باشد .

در کامپوزیت هایی که دارای فصل مشترکی با استحکام بالا هستند مکانیزم غالب ، شکست ذرات می باشد. در توجیه شکست ذرات می توان چنین استدلال کرد که به دلیل تفاوت ثابت های الاستیک ذرات و زمینه در هنگام تغییر شکل ، نیرویی از طرف زمینه به ذرات وارد می گردد . اگر نیروی اعمالی بیشتر از استحکام ذرات باشد باعث شکست ذرات می گردد و ذرات در جهت عمود بر نیروی اعمالی شکسته می شوند . ذرات بزرگ کاربید سیلیسیم به دلیل این که بعد از شکست اولیه ، در هنگام تغییر شکل کامپوزیت از قسمت سطوح جانبی و انتها مجدداً تحت بارگذاری هستند ، ممکن است از چندین قسمت شکسته شوند . بعد از شکست ذرات ، در اثر باراعمالی ، زمینه اطراف ذرات شکسته شده، تغییر شکل داده و منجر به رشد حفرات داخل ذره ای می گردد . رشد حفرات داخل ذره ای باعث بوجود آمدن یک کرنش پلاستیک موضعی در اطراف ذرات می گردد که این کرنش برای ذره ای به قطر D برابر W/D است که میزان بازشدگی ترک می باشد ، اگر کسر حجمی ذرات شکسته شده را f_{op} در نظر بگیریم ، کرنش ناشی از شکست این مقدار ذرات با فرض یکسان بودن D و W از رابطه ذیل بدست می آید .

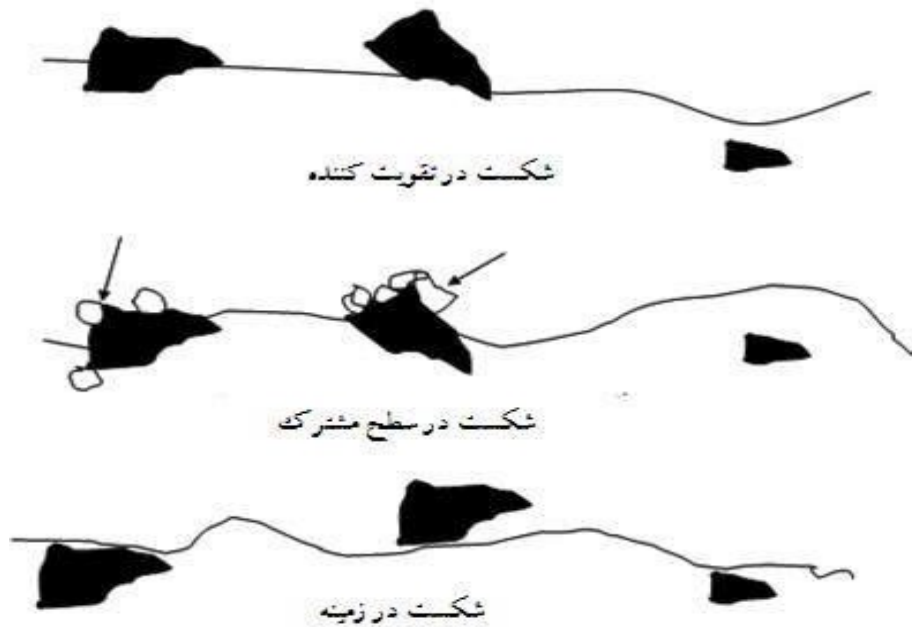
$$\varepsilon_{CP} = f_{cp} \left[\frac{W}{D} \right] \quad ۱-۲$$

در نهایت بهم پیوستن این حفرات باعث شکست کامپوزیت می گردد . اما در کامپوزیت هایی که دارای فصل مشترک مستحکم نیستند پارگی فصل مشترک منجر به شکست کامپوزیت می گردد. در این کامپوزیت ها به دلیل این که فصل مشترک از استحکام کافی برخوردار نیست ، از ذرات جدا شده و از بهم پیوستن این حفرات بین ذره ای (Inter Particle) شکست کامپوزیت اتفاق می افتد . در این کامپوزیت ها به دلیل این که استحکام فصل مشترک کمتر از ذرات است ، به ندرت شکست ذرات مشاهده شده است ، مگر در مواردی که ذرات دارای ترک باشند و یا در نقاطی از ریز ساختار فصل مشترک مستحکم تشکیل شده باشد [۱۰] .



شکل ۲-۳- شکست ذرات در کامپوزیت و ایجاد حفره در داخل ذرات شکسته شده در دمای محیط

در شکل ۲-۴ شماتیک دو شکستی که بیان شدنشان داده شده است.



شکل ۲-۴ شماتیک گسترش ترک

شکست را می توان به چند دسته کلی تقسیم نمود. ۱- شکست آرام ۲- شکست ناگهانی ۳- تسلیم عمومی و تغییر شکل پلاستیک ۴- ناپایداری پلاستیک ۵- شکست در اثر کماتش ۶- شکست ناشی از خستگی ۷- خوردگی ۸- شکست ناشی از خوردگی تنشی ۹- خزش [۱۱]

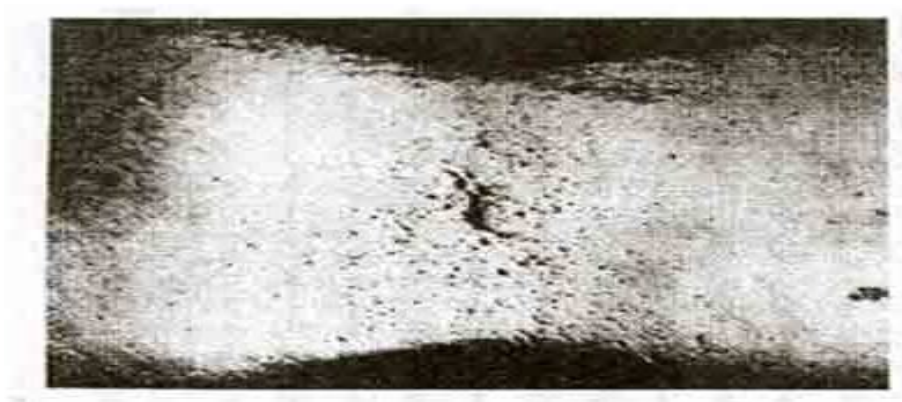
۲-۴- انواع شکست

۲-۴-۱- شکست آرام

بسیاری از فلزات و آلیاژهای آنها به ویژه آنهایی که دارای شبکه FCC هستند، مانند آلومینیوم و آلیاژهای آن در تمام درجه حرارتها شکست نرم خواهند داشت. شکست آرام به آرامی و پس از تغییر شکل پلاستیکی زیاد به ازاء تنش بالاتر از استحکام کششی ظاهر می شود. از مشخصات شکست آرام، تحت تاثیر تنش کششی، ظاهر گشتن گلویی یا نازکی موضعی و ایجاد

شکل ۲-۵ مراحل مختلف شکست آرام در یک فلز انعطاف پذیر

حفره های بسیار ریز در درون قسمت گلویی و اتصال آنها به یکدیگر تا رسیدن به حد یک ترک ریز و رشد آرام ترک تا حد پارگی تا شکست نهایی است. عامل اصلی این نوع شکست می تواند حفره های موجود در زمینه باشد. لذا با ایجاد حفره های بسیار ریز در محدوده گلویی حالت تنش سه محوری برقرار می شود که منجر به ایجاد ترک میشود. در طراحی و ساخت اجزای ماشین آلات و در ساختمان سازی، تنشهای وارد بر سازه های فلزی در محدوده الاستیکی انتخاب میشود. بنابراین در کاربرد صنعتی، شکست در حالت تنش استاتیکی در مواد انعطاف پذیر (داکتیل) یک پیشامد نامطلوب است [۱۲]



شکل ۲-۶ ترک داخلی در ناحیه نازک شده در نمونه کششی مس با خلوص بالا

۲-۴-۲- شکست ناگهانی

عبارت شکست ناگهانی برای توصیف شکست های ناپایدار سریع به کار برده می شود. این نوع شکست وجه متقابل شکستهای پایدار از خستگی و یا شکستها ناپایدار مثل تسلیم پلاستیک می باشد. شکست ناگهانی در بعضی فلزات ناشی از یک خاصیت متالورژیکی منحصر به فرد در آلیاژهای آهنی و برخی فلزات دیگر مثل مولیبدن و نوعی از کرم است که ساختمان کریستالی آنها از نوع b.c.c می باشد. شکست ناگهانی معمولاً در فلزاتی با ساختار کریستالی مکعب مرکزدار (bcc) و هگزاگونال متراکم (hcp) و آلیاژهای آنها در درجه