دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد (شکل‌دهی فلزات)

بررسی تجربی نمودار حدشکل‌پذیری و خواص مکانیکی آلومینیوم با ساختار نانو و میکرو بلور

به کوشش

فرهاد مؤمنی

اساتید راهنما:

دکتر سیّد احمد جنابعلی جهرمی

دکتر محمّد محسن مشکسار

اسفند ماه 1388

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب فرهاد مومنی (۸۶۰۳۴۷) دانشجوی رشته ی مهندسی مواد گرایش شکل دهی فلزات دانشکده ی مهندسی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه ی حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: فرهاد مومنی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۱۲/۱۸

به نام خدا

بررسی تجربی نمودار حد شکل‌پذیری و خواص مکانیکی آلومینوم با ساختار نانو و میکرو بلور

به کوشش

فرهاد مومنی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی :

مهندسی مواد (گرایش شکل دادن فلزات)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته پایان نامه با درجه ی: **عالی**

دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی، استاد بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر محمد محسن مشکسار، استاد بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز.....

دکتر رامین ابراهیمی، دانشیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز.....

دکتر حبیب دانش منش، دانشیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز.....

بهمن ۱۳۸۸

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزتر از جانم

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بایسته می‌دانم از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی که در تمامی مراحل انجام این کار مرا پشتیبانی نمودند و برای از میان برداشتن موانع و مشکلات مرا یاری نمودد و از راهنمایی‌های علمی ایشان در این کار سود بردم سپاسگزاری نمایم. همچنین بایسته می‌دانم از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد محسن مشکسار که با راهنمایی‌های علمی و عملی خود مرا در انجام این پروژه یاری نمودند سپاسگزاری نمایم. در پایان از تمامی اساتید دانشگاه شیراز به ویژه اساتید بخش مهندسی مواد که در دوره کارشناسی ارشد در خدمت این عزیزان به کسب دانش پرداختم بسیار سپاسگزاری می‌نمایم و پیشرفت روز افزون این عزیران را در سایه پیشرفت ایران عزیز از خدای بزرگ خواستارم.

چکیده

بررسی تجربی نمودار حدشکل‌پذیری و خواص مکانیکی آلومینیوم با ساختار نانو و میکرو بلور

به کوشش:
فرهاد مؤمنی

امروزه مواد نانوساختار و بسیار ریزدانه به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که نسبت به مواد درشت دانه از خود نشان می‌دهند مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارند. از روش‌های دستیابی به ساختارهای بسیار ریزدانه و نانوساختار بکارگیری تغییرشکل‌های بسیار شدید می‌باشد. روش پیوند نوردی تجمعی هم یکی از روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید است که می‌تواند ساختارهای نانو و بسیار ریزدانه را در مواد پدیدآورد و از این راه ویژگی‌های مکانیکی مواد را بهبود بخشد. فرآورده این فرآیند به شکل ورق می‌باشد. از آنجایی که ورق‌ها در صنعت معمولا فرآوردهای میانی هستند و برای تولید فرآوده‌ها نهایی باید دوباره دچار تغییرشکل شوند شکل‌پذیری آن‌ها باید بررسی گردد.

در این کار با بکارگیری نمودارهای حدشکل‌پذیری خواص شکل‌پذیری ورق‌های آلومینیومی فرآوری شده با فرآیند پیوند نورد تجمعی با ساختار نانو و ساختار بسیار ریزدانه بررسی شد. و تاثیر روند فرآیند بر شکل‌پذیری این ورق‌ها بررسی گردید. همچنین تاثیر ضخامت، و جهتگیری نسبت به جهت نورد بر شکل‌پذیری ورق‌های آلومینیومی نانوساختار بررسی شد. یافته‌های این کار نشان می‌دهد که با افزایش میزان کرنش (افزایش شمار پاس‌ها هنگام فرآیند پیوند نورد تجمعی) شکل‌پذیری ورق‌ها کاهش می‌یابد و ورق‌های با ضخامت بیشتر شکل‌پذیری بیشتری از خود نشان می‌دهند.

فهرست

پیشگفتار	2
گفتار دوم پیشینه و تئوری	5
2-1) مواد نانوساختار	5
2-2) ویژگی‌ها مواد نانو ساختار	7
2-3) روش‌های ساخت مواد نانو ساختار	12
2-4) اتصال نوردی تجمعی	24
2-5) ویژگی‌های ورق‌های تولید شده به روشARB	33
2-6) شکل‌پذیری	37
2-7) نمودارهای حد شکل‌دهی	41
2-8) بررسی شبکه دایره ای(کار برد نمودارهای حد شکل‌پذیری) [61]	42
2-9) عوامل مؤثر بر نمودارهای حد شکل‌پذیری	43
گفتار سوم روش کار	51
2-3 فرآیند پیوند نورد تجمعی	52
3-3 آزمون کشش تک محوری	54
5-3 آزمایش پراش پرتو ایکس	59
گفتار چهام نتایج و بحث	62
پیشگفتار	62
4-1) آزمون کشش	63
4-2) پراش پرتو ایکس	68
4-3) نمودارهای حد شکل‌پذیری	72
گفتار پنجم یافته‌ها و پیشنهادها	93
منابع	94

فهرست شکل‌ها

شکل2-1) نمایی شماتیک از یک فلز نانو ساختار 5
شکل 2-2) انواع مواد نانو کریستالی 7
شکل 2-3) نمایش شماتیک تغییرات استحکام تسلیم-اندازه‌دانه 9
شکل 2-4) مدل کاترل برای توصیح رفتارهال- پچ. 11
شکل 2-5) تأثیر اندازه‌دانه مواد نانوساختار بر مدول الاستیک 12
شکل 2-6 نمایی از فرآیند ECAP 16
شکل 2-7) روش‌های گوناگون چرخش نمونه‌ها بین مراحل مختلف ECAP 17
شکل 2-8) نمایی از فرآیند HPD 18
شکل 2-9) نمایی فرآیند MAF/C 19
شکل 2-10) فرآیند RCS a) ناپیوسته b) پیوسته 20
شکل 2-11 فرآیند تغییر شکل برشی پیوسته 21
شکل 2-12) نمونه‌ای شماتیک از فرآیند 22
شکل 2-13) اصول فرآیند ARB 23
شکل 2- 13) نمایی از فرآیند پیوند نوردی تجمعی 24
شکل2-14) ریزساختار TEM و الگوی SAD آن برای نمونه ARB شده 28
شکل2-15) ریزساختار TEM و الگوی SAD آن برای نمونه ARB شده 28
شکل2-16) میزان زاویه عدم تطابق نسبت به طول در جهت عمود بر سطح ورق 29
شکل 2-17) a عکس TEM از ریز ساختار آلومینیوم 1100 30
شکل 2-18) فاصله بین مرزدانه‌های LB و IB ضریب شکل دانه 30
شکل2-19) توزیع کرنش برشی در راستای ضخامت نمونه، آلومینیوم 31
شکل2-20) ریز ساختار TEM در دو فاصله مختلف از سطح ورق آلومینیوم 1100 32
شکل2-21) توزیع کرنش برشی و اندازه‌دانه در ورق آلومینیوم 1100 ARB شده 32
شکل 2-22) مقایسه تغییرات اندازه‌دانه و سختی در راستای ضخامت 33
شکل2-23) تصویر قطبی {1 1 1} آلومینیوم ARB شده 35
شکل2-24) خواص کششی آلومینیوم ARB شده 36
شکل2-25) خواص مکانیکی فولاد IF در پاس‌های مختلف 36
شکل2-26) افزایش سختی در اثر فرآیند ARB 37
شکل2-27) منحنی حد شکل‌پذیری ارائه شده توسط هیل 38

شکل2-28) منحنی حد شکل‌پذیری ارائه شده توسط کیلر 39
شکل2-29) منحنی حد شکل‌پذیری ارائه شده توسط مارسنیاک و کوزانسکی 40
شکل2-30) منحنی حد شکل‌پذیری ارائه شده توسط کیلر گودوین 40
شکل2-31) کرنش‌های حدی و نمودار حد شکل‌پذیری برای آلومینیوم 42
شکل 2-32 تاثیر جهت گیری نورد بر نمودار حد شکل‌پذیری 44
شکل 2- 33) نمودار حد شکل‌دهی برای ماده با توان کارسختی بالا و پایین 45
شکل2-34) تاثیر توان کار سختی بر نمودار حد شکل‌پذیری فولاد آنیل شده 45
شکل2-35) تاثیر حساسیت به نرخ کرنش بر نمودار حد شکل‌پذیری 46
شکل 2-36) تاثیر کرنش شکست ε_f بر کرنش‌های حدی 47
شکل 2-37 تاثیر بزرگی نا همگنی بر نمودار حد شکل دهی 47
شکل2-38) تغییرات در نمودار حد شکل‌دهی با تغییر چند عامل 49
شکل 3-1) نحوه برسکاری نمونه‌ها پیش از مرحله نورد 53
شکل2-3) دستگاه نورد بکاربرده شده برای فرآیند پیوند نورد تجمعی 53
شکل3-3) طرح نمونه بکاربرده شده در آزمون کشش 54
شکل4-3) دستگاه کشش عمیق بکاررفته برای آزمون اریکسون 55
شکل5-3) نمونه شبکه دایره‌ای بکاربرده شده در آزمون اریکسون 56
شکل6-3) نمودار حد شکل پذیری برای یکی از نمونه‌های تابکاری شده 57
شکل7-3) نقشه نمونه‌های گروه B 58
شکل8-3) نمونه‌های آزمون اریکسون پیش و پس از آزمون 58
شکل 1-4) نمودار تنش کرنش مهندسی ورق‌های ARB شده در پاس‌های مختلف 63
شکل 2-4) نمودار تنش‌کرنش مهندسی ورق‌های ARB شده در پاس های مختلف 64
شکل 3-4) روند تغیرات استحکام کششی نهایی در پاس‌های مختلف؛ ورق 1/5 66
شکل 4-4) روند تغیرات استحکام کششی نهایی در پاس‌های مختلف؛ ورق 1/0 66
شکل 5-4) روند تغییرات کرنش شکست در پاس های مختلف؛ ورق1/5 67
شکل 6-4) روند تغییرات کرنش شکست در پاس های مختلف؛ ورق1/0 67
شکل 7-4) الگوی پراش پرتو ایکس؛ نمونه یک پاس ARB شده 68
شکل 8-4) الگوی پراش پرتو ایکس؛ نمونه سه پاس ARB شده 69
شکل 9-4) الگوی پراش پرتو ایکس؛ نمونه پنج پاس ARB شده 69
شکل 10-4) روند تغییرات اندازه دانه در پاس‌های مختلف فرآیند ARB؛ ورق 1/0 70
شکل11-4) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه آنیل شده 1/5 در جهت عرضی 72
شکل12-4) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه تابکاری شده در جهت طولی 73
شکل13-4) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه یک پاس ARB شده در جهت طولی 74
شکل14-4) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه پنج پاس ARB شده در جهت طولی 74
شکل15-4) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه تابکاری شده در جهت عرضی 75
شکل16-4) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه یک پاس ARB شده در جهت عرضی 76

شکل4-17) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه سه پاس ARB شده در جهت عرضی 76
شکل4-18) نمودار حدشکل‌پذیری؛ نمونه پنج پاس ARB شده در جهت عرضی 76
شکل4-19) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه تابکاری شده در دو جهت طولی (rd) 78
شکل4-20) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه تابکاری شده در دو جهت ورق1/5 78
شکل4-21) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه پاس یک در دو جهت؛ ورق 1/0 78
شکل4-22) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه پاس یک در دو جهت؛ورق 1/5 79
شکل4-23) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه پاس سه در دو جهت؛ورق 1/5 79
شکل4-24) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه پاس پنج در دو جهت؛ ورق 1/0 79
شکل4-25) نمودار حدشکل‌پذیری نمونه پاس پنج در دو جهت؛ ورق 1/5 80
شکل 4-26) نمودارهای حدشکل‌پذیری آلومینیوم 1100 در پاس‌های مختلف ARB؛ نمونه 1/5 میلیتر ضخامت در جهت طولی 81
شکل 4-27) نمودار های حدشکل‌پذیری آلومینیوم 1100 در پاس‌های مختلف ARB؛ نمونه 1/5 میلیتر ضخامت در جهت عرضی 82
شکل 4-28) نمودار های حدشکل‌پذیری آلومینیوم 1100 در پاس‌های مختلف ARB؛ نمونه 1/0 میلیتر ضخامت در جهت طولی 82
شکل 4-29) نمودار های حدشکل‌پذیری آلومینیوم 1100 در پاس‌های مختلف ARB؛ نمونه 1/0 میلیتر ضخامت در جهت عرضی 83
شکل 4-30) مدل کاترل برای توصیح رفتار هال- پچ. 84
شکل4-31) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه آنیل شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت طولی 85
شکل4-32) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه آنیل شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت عرضی 85
شکل4-33) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه آنیل شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت طولی 86
شکل4-34) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه یک پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت طولی 86
شکل4-35) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه یک پاس ARB شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت طولی 87
شکل4-36) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه یک پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت عرضی 87
شکل4-37) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه یک پاس ARB شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت عرضی 88
شکل4-38) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه سه پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت طولی 88
شکل4-39) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه سه پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت عرضی 89
شکل4-40) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه سه پاس ARB شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت عرضی 89
شکل4-41) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه پنج پاس ARB شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت عرضی 90
شکل4-42) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه پنج پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت طولی 90
شکل4-43) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه پنج پاس ARB شده با ضخامت 1/0 میلیتر در جهت طولی 91
شکل4-44) نمودار حد شکل پذیری برای نمونه پنج پاس ARB شده با ضخامت 1/5 میلیتر در جهت عرضی 91

پیشگفتار

پیشگفتار

ریچارد فاینمن برنده جایزه نوبل فیزیک در سال 1965 و یکی از مشهورترین فیزیکدان‌های دهه 60 میلادی به عنوان پدر نانو فناوری شناخته شده‌است. وی در سال 1960 پیش‌بینی انقلابی و جذابی را بیان‌نمود. او گفت فضای زیادی در پایین وجوددارد. همین جمله، پایه علم نانوتکنولوژی شد. او این نکته را مطرح کرد که اصول علم فیزیک چیزی جز امکان ساختن اتم به اتم اشیاء را بیان نمی‌کند. وی بدنبال گفته‌های بالا تصورات و پیشنهادهایی در مورد دستکاری اتم‌های مجزا و تولید ساختارهای کوچک که خواص متفاوتی دارند را بیان کرد[1]. گرچه پیش بینی‌های فاینمن در بین دانشمندان هم دوره اش از پذیرش خوبی برخوردار نشد، ولی این پیش بینی‌ها امروزه به حقیقت پیوسته است.

به طور کلی مواد با ساختار نانو به خاطر ویژگی‌ها منحصر به فرد مانند خواص‌مکانیکی، فیزیکی، نوری، و مغناطیسی که از خود نسبت به مواد با دانه بندی درشت و متوسط (در اندازه میکرومتر) نشان می‌دهند، امروزه اهمیت بسیاری دارند[2]. علم و فناوری و مهندسی موادی با ساختارهای بسیارریز در محدوده 1000-1 نانومتر، که به نام ساختارهای بسیارریز و نانوساختار شناخته می‌شوند، یک فضای تحقیقاتی گسترده با قابلیت رشد و گسترش بین علوم مختلف است که در سال‌های اخیر به عنوان موضوع تحقیقاتی مهم و مورد توجه محققین درزمینه‌های مواد ، شیمی، فیزیک، زیست شناسی و بیوپزشکی واقع شده است[3]. اکنون مواد با ابعاد نانو را در یک گستره بزرگ دربرگیرنده نانو ذرات، نانو ساختار و نانو ابزارها در نظر گرفته می‌شوند [4]. گفتنی است که خصوصیات و ریز ساختار مواد نانو ساختار تا اندازه زیادی به روش ساخت آن بستگی دارد. بنابراین، انتخاب مناسبترین روش برای ساخت مواد نانوساختار با ویژگی‌ها مورد نظر اهمیت زیادی دارد [5 و3].

امروزه علاقه بکاربردن ورق‌های نانو ساختار در صنعت به خاطر ویژگی‌ها فوق‌العاده مواد نانو با افزایش چشم‌گیری روبرو است و تحقیقات زیادی روی ویژگی‌ها ورق‌ها با ساختار نانو انجام می‌شود.

ورق‌ها یکی از پر کاربردترین فرآورده‌های فلزی هستند که در صنعت به عنوان محصولات میانی بکار برده می‌شوند. ورق‌ها پس از تولید در کارخانه در فرآیندهای شکل‌دهی ثانویه به قطعات

خودرو، لوازم خانگی، محصولات ساختمانی، هواپیما، قوطی‌های بسته بندی مواد غذایی و نوشیدنی و بسیاری دیگر از محصولات آشنا تبدیل می‌شوند. به همین دلیل آشنایی با خواص شکل‌پذیری ورق‌ها بسیار کلیدی و مهم می‌باشد.

از سویی دیگر کرنش‌هایی که یک ماده می‌تواند در شکل‌دهی ورق فلزی تحمل کند بخاطر انواع پدیده‌های ناخواسته که در مراحل خاصی از فرآیند شکل‌دهی ظاهر می‌شوند و جریان صحیح عملیات را خراب می کنند محدود می‌شود.تعیین میزان شکل‌پذیری ورق فلزی و تعیین حدود امن برای شکل‌دهی مورد مطالعات گوناگونی قرار گرفته اند و از مسائل اساسی در مباحث مربوط به کشش عمیق و شکل‌دهی انبساطی ($stretching$) هستند[6]. بکار بردن نمودارهای حد شکل‌دهی روشی متداول برای پیدا کردن میزان شکل‌پذیری ورق‌ها می‌باشد. نمودار حد شکل‌دهی ابزاری مناسب برای رفع اشکال در مسائل مربوط به شکل‌پذیری ورق می‌باشد. علاوه براین چنین نمودارهایی ابزاری مناسب برای برای تشخیص شکل‌پذیری ورق‌های مواد مختلف هستند. عوامل زیادی از جمله توان کارسختی ، حساسیت به نرخ کرنش ونسبت کرنش پلاستیک بر شکل و سطح نمودارهای حد شکل‌پذیری تاثیر می‌گذارند. برای توضیح وتوجیح بهتر داده‌های بدست آمده می‌توان جنبه‌های ریز ساختاری همچون اندازه‌دانه وزبری سطح را مورد توجه قرارداد[7].

با توجه به گفته‌های بالا ارزیابی خواص مکانیکی و خواص شکل‌پذیری ورق‌های نانو ساختار و پی‌بردن به مزایا و معایب این ورق‌ها بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

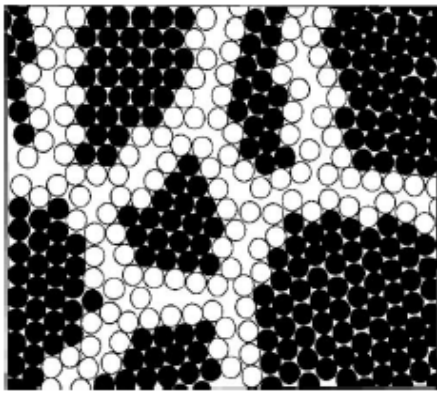
گفتار دوم پیشینه و تئوری

گفتار دوم پیشینه و تئوری

2-1 مواد نانوساختار

مواد نانو ساختار، مواد توده‌ای پلی کریستالی هستند که اندازه ی دانه آن‌ها بین 1 تا 100 نانو متر است. نمایی شماتیک یک مدل کروی از یک فلز نانوساختار هم محور در شکل 2-1 نشان داده شده است [8]. چنانکه دیده‌می‌شود دو نوع اتم در این ساختار هست، الف) اتم‌های کریستالی یا بلوری با نزدیک ترین آرایش‌گیری همسایگی نسبت به شبکه اتمی و ب) اتم‌های مرزی با فضاهای بین اتمی‌ناهمسان که از مرزی به مرز دیگر تغییر می‌کند. یک فلز نانو ساختار به صورت کلی دارای میزان بسیار زیادی فصل مشترک با جهت گیری متفاوت و در پی آن ، درصد بسیاری از اتم‌ها که در فصل مشترک قرار گرفته اند، می‌باشد. با فرض کروی بودن اتم‌ها، کسر مرزدانه‌ها به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد[9و4]:

$$C = \frac{3\Delta}{d} \qquad (1\text{-}2)$$



شکل2-1) نمایی شماتیک از یک فلز نانو ساختار[8].

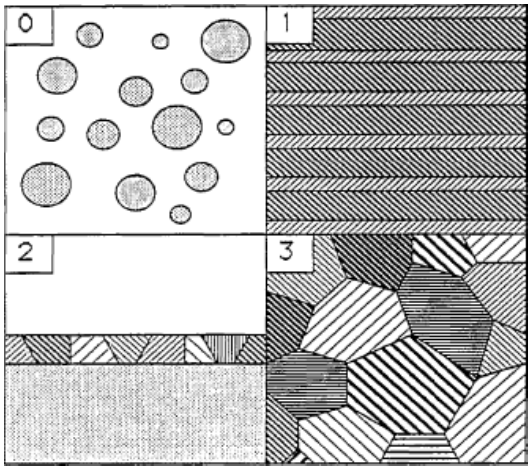
که به ترتیب C، Δ و d کسر حجمی‌مرزدانه‌ها، میانگین پهنای مرزدانه‌ها و میانگین اندازه‌دانه‌ها می‌باشند. بنابراین کسر حجمی‌اتم‌ها در مرز دانه‌ها می‌تواند برای دانه‌های با اندازه 10 و100 نانومتر به ترتیب نزدیک به 30% و3% درصد باشد.

همانگونه که از شکل 2-1 و رابطه 2-1 برمی‌آید با کاهش اندازه‌دانه می‌توان کل نواحی درون کریستالی را شامل مرزدانه‌ها، نقاط اتصال سه گانه و اتصالات دانه‌ها در نظم‌های بلند دامنه در نظر گرفت. گفتنی است زمانی که اندازه‌دانه‌ها بسیار کوچک باشند، نقاط اتصال سه‌گانه را می‌توان به صورت یک عیب ساختاری در نظر گرفت. در این حالت (اندازه‌دانه‌های بسیار کوچک) نقاط اتصال سه‌گانه و اتصال دانه‌ها در نظم‌های بلنددامنه اثر چشم‌گیری بر روی ویژگی‌ها مواد کریستالی دارند. افزایش جهت‌گیری‌های تصادفی در بافت‌های کریستالوگرافی موضعی و سراسری مواد به افزایش امکان ایجاد اتصالات سه گانه به عنوان یک عیب ساختاری منجر می‌شوند[9و8، 4].

دسته بندی مواد نانو ساختار

مواد نانو کریستالی را می‌توان با توجه به اینکه در چند بعد دارای ابعاد نانو هستند را بگونه‌ای که در شکل 2-2 نشان داده شده است به چهار دسته تقسیم کرد.

الف) نانو ذرات؛ ب) ساختارهای لایه‌ای نانومتری، ج) ساختارهای الیافی و د) مواد نانوساختار توده‌ای تقسیم‌بندی‌نمود. نانو ذرات خوشه‌ها و دسته‌های اتمی‌می‌باشند که می‌توانند به صورت ذراتی بدون بُعد در نظر گرفته شوند (0-D). دسته دو ساختارهای لایه‌ای نانو می‌باشند. یک ساختار لایه‌ای نانو، نانو ساختاری تک‌بُعدی (1-D) است که در یک بُعد اندازه نانومتری دارد. در اینگونه مواد بزرگی ضخامت نسبت به طول و پهنا بسیار کمتر بوده و برابر چند نانو متر می‌باشد.دسته سوم، الیاف‌های نانوساختار مواد نانوساختار دوبُعدی (2-D) می‌باشند که در آن‌ها در راستای قطر و یا پهنا و ضخامت ابعاد در اندازه چند نانومتر می‌باشد.



شکل 2-2) انواع مواد نانو کریستالی؛ 0) بدون بُعد 1) تک بعدی، 2) دوبعدی،3) سه بعدی.

معمولترین مواد نانو ساختار، مواد نانوساختار سه بعدی (3-D) می‌باشند که به صورت کریستالهای نانومتری در نظر گرفته می‌شود (تمام ابعاد دارای اندازه‌ای در اندازه نانو هستند)[8]. در میان دسته‌های بالا بیشترین توجه و اهمیت به روش‌های ساخت و بررسی ویژگی‌ها مواد نانو ساختار و روش‌های آن‌ها نشان داده شده است. از سویی دیگر مواد نانو ساختار می‌توانند ساختارهای کریستالی، نیمه کریستالی یا امورف داشته و نیز از فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها و یا مواد مرکب باشند. به عبارت دیگر، مواد با ساختارهای کریستالی و امورف را به ترتیب نانوساختارهای کریستالی، نیمه کریستالی و نانو امورف می‌نامند[10].

2-2) ویژگی‌ها مواد نانو ساختار

مواد نانوساختار ، مواد توده‌ای پلی کریستالی هستند که اندازه‌ی دانه آن‌ها بین 1 تا 100 نانو متر است. مواد نانوساختار در بسیاری از موارد ویژگی‌ها متفاوتی نسبت مواد درشت دانه از خود نشان می‌دهند. بسیاری از ویژگی‌ها مواد نانو ساختار به خاطر نسبت سطح به حجم زیاد نانو ذرات تشکیل دهنده آن‌ها و یا میزان زیاد مرزدانه‌ها در مواد نانو ساختار نسبت به مواد معمولی است. همانگونه که هم پیش تر گفته شد در یک ماده نانوساختار تعداد زیادی از اتم‌ها در مرزدانه‌ها قرار دارند[8]، شکل2-1.

اتم‌های درون دانه‌ای ماده، آرایش ساختاری و منظمی‌دارند ولی اتم‌هایی که در مرز دانه‌ها هستند دارای فاصله‌های اتمی‌متفاوتی هستند و چیدمان آن‌ها بی نظم است. بنابراین در مواد نانو ساختار درصد حجمی‌مرزدانه‌ی بالایی وجود دارد که ساختار غیر تعادلی و ناپایدار دارند که این باعث بروز ویژگی‌های متفاوت نانوساختارها نسبت به مواد معمولی می‌گردد. در ادامه به بعضی از این ویژگی‌ها متفاوت نانو ساختارها اشاره می‌شود.

2-2-1) نفوذ پذیری

همانگونه که گفته شد، مواد نانو ساختار دارای درصد حجمی‌بالایی از مرز دانه هستند. این امر باعث می‌شود که انتقال اتمیو نفوذ در مواد نانو ساختار از آنچه در مواد تک کریستال و یا مواد با دانه‌های بزرک تر اتفاق می‌افتد، سریع تر باشد چرا که در جامدات نانو ساختار، فصل مشترک دانه‌ها مسیرهای بیشتری برای نفوذ اتم‌ها فراهم می‌کنند. به عبارت دیگر وجود این فصل مشترک‌های بین دانه‌ای زیاد باعث می‌شود که تقریبا در همه‌ی دماها نفوذ از طریق مرز دانه‌ها؛ سازوکار (مکانیزم) غالب نفوذ باشد. این در حالی است که در مواد پلی‌کریستالی معمولی در دماهای بیش از نصف نقطه ذوب، نفوذ از درون دانه‌ها (نفوذ حجمی)، سازوکار (مکانیزم) غالب نفوذ است.

افزایش ضریب نفوذ در مواد نانو ساختار سبب تغییر برخی ویژگی‌ها مواد از جمله موارد زیر می‌شود[10و9]:

افزایش حد حلالیت در حالت جامد؛
تشکیل ترکیبات بین فلزی در داماهای بسیار کمتر به علت افزایش سرعت نفوذ عناصر در هم و تشکیل سریع تر این ترکیبات.
افزایش قابلیت سینتر شدن پودرهای نانو ساختار.