

فهرست

- ۱..... مقدمه
- ۲..... منیزیم - آلومینیوم
- ۳..... گاز زدایی به وسیله اولتراسونیک
- ۴..... مکانیزم های تاثیر اولتراسونیک بر جوانه زنی
- ۶..... تاثیر عملیات اولتراسونیک بر ریزساختار
- ۱۳..... مکانیزم های موثر بر ریزساختار ترکیبات بین فلزی
- ۱۴..... تاثیر عملیات اولتراسونیک بر خواص مکانیکی
- ۱۵..... نتیجه گیری
- ۱۶..... مراجع

مقدمه

مهندسين در تلاش هستند تا بتوانند در صنايع هواپيماسازي و خودرو سازي و بسياري از موارد ديگر از فلزات سبک استفاده کنند و راندمان کاري وسايل را بالا ببرند. عمليات آلتراسونيك يکي از روشهاي ديناميکي موثر براي عمليات بر روي مذاب و انجماد فلز مي باشد.

امواج آلتراسونيك امواجي هستند با فرکانس بيش از 20KHz که کاربردهاي مختلفی دارند. نظريه بهبود کيفيت فلز ريختگي بوسيله نوسان ساز الاستيکي، که با ايجاد ارتعاش مکانيکي بر روي فولاد در حين انجماد انجام شد، در سال ۱۸۷۸ بوسيله Chernove، متالورژيست برجسته روسي مطرح شد، هر چند که تاثير نوسان ساز آلتراسونيك بر روي ساختار و خواص مواد تا سال ۱۹۲۰ مورد تحقيق و بررسي قرار نگرفته بود.

Boyle در سال ۱۹۲۲ و Taylor و Sporoule در سال ۱۹۲۹ امکان گاز زدائي فلزات سبک بوسيله آلتراسونيك را گزارش دادند. نخستين آزمايشاتي که در مورد تاثير آلتراسونيك بر روي انجماد فلزات مذاب گزارش شده به سال ۱۹۳۶ بر مي گردد، زماني که Sokolov آزمايشات خود را بر روي فلزات آلومينيوم، روي و قلع ارائه داد. جزئيات مقالات در مورد آلتراسونيك و عمليات ويرايسيون بر روي فلزات در سال ۱۹۸۱ توسط Campbell، در سال ۱۹۹۴ توسط Abramov و در سال ۱۹۸۸ بوسيله Eskin که از برجسته ترين محققين در اين زمينه هستند، ارائه شده است.

به طور کلي بررسي بر روي آلتراسونيك از نظر متالورژيکي طی سالهاي مختلف تحت تحقيقات وسيعي در کشورهاي گوناگون از به طور کلي بررسي بر روي آلتراسونيك از نظر متالورژيکي طی سالهاي مختلف تحت تحقيقات وسيعي در کشورهاي گوناگون از AI و آلياژهاي آن صورت گرفته است و هنوز هم اين مبحث در جهت پيشبرد آن مورد مطالعه بسياري از محققين قرار دارد.

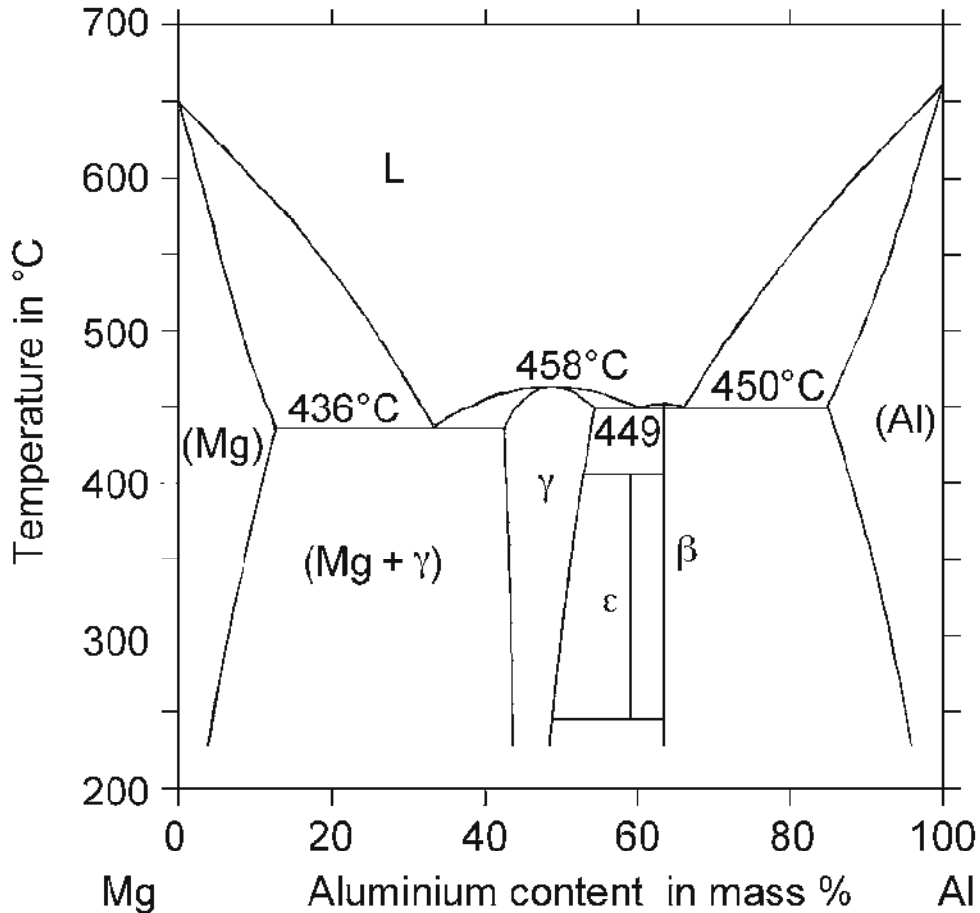
تحقيقات انجام شده نشان داده است که تحت عمليات آلتراسونيك علاوه بر گاز زدائي، ساختار دندريتي از بين مي رود و ساختار ريزدانه با دانسيته بالا ايجاد خواهد شد که بسيار مطلوب مي باشد. که اين خواص باعث بهبود انعطاف پذيري قطعه ريختگي و همگني ساختار آن، بدون کاهش استحکام مي

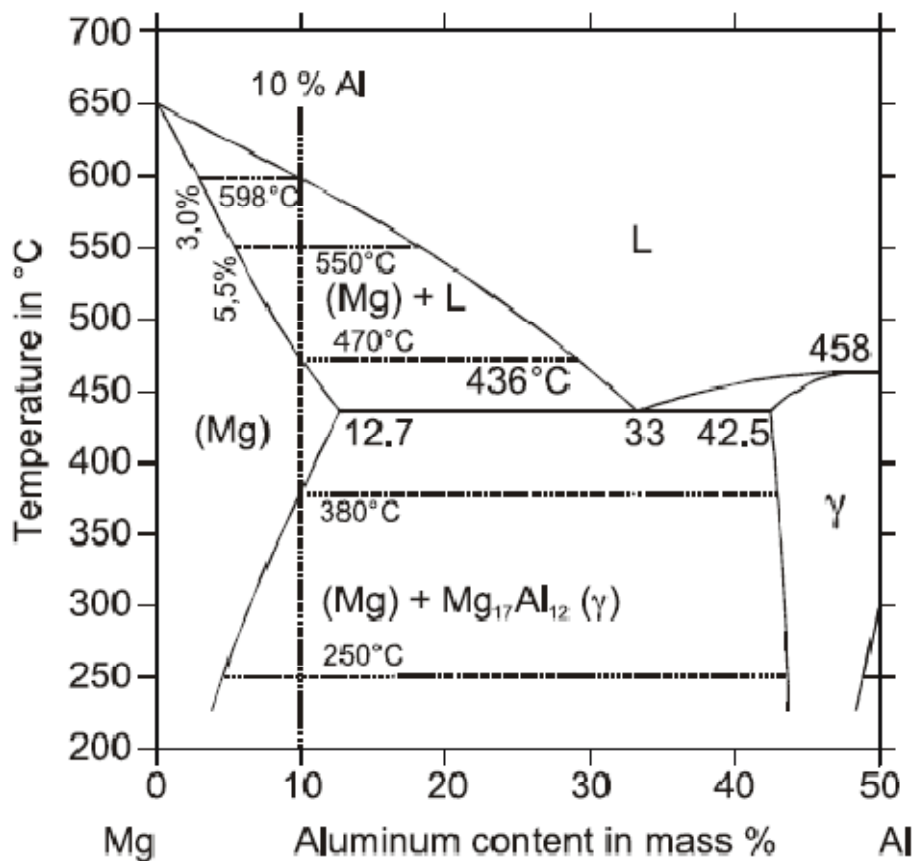
شود. [1]

منیزیم - آلومینیوم

آلومینیوم یکی از مهمترین عنصر آلیاژی در منیزیم است. بسیاری از سیستم ها تا ۱۵٪ جرمی آلومینیوم دارند مانند AZ، AM، AE، AS. شکل سیستم Al-Mg را نشان می دهد. Al یکی از معدود فلزاتی است که به آسانی در منیزیم حل می شود. حد حلالیت بالاتر باعث رسوب $Mg_{17}Al_{12}$ که یک فاز بین فلزی ترد است می گردد. حد حلالیت آلومینیوم در دمای یوتکتیک ۱۱.۵٪ اتمی (۱۲٪ جرمی) است و تا حدود ۱٪ در دمای اتاق پایین می آید. در نتیجه $Mg_{17}Al_{12}$ نقشی اساسی در تعیین خواص بازی می کند. آلیاژهای تجاری بر پایه Mg-Al شامل مقادیر بیشتری عنصر آلیاژی روی هستند. مانند AZ91،

AZ81 و AZ63. [2]





شکل ۱. دیاگرام فازی منیزیم - آلومینیوم

گاز زدایی به وسیله اولتراسونیک

گاز زدایی از مایع و مذاب های نقطه پایین در سال ۱۹۳۰ توسط واکنش های اولتراسونیک اشکار گردید. تحقیقات نشان دهنده حذف موثر هیدروژن از مذاب های Al و منیزیم وقتی که عملیات اولتراسونیک همراه با گسترش حفره زایی باشد است.

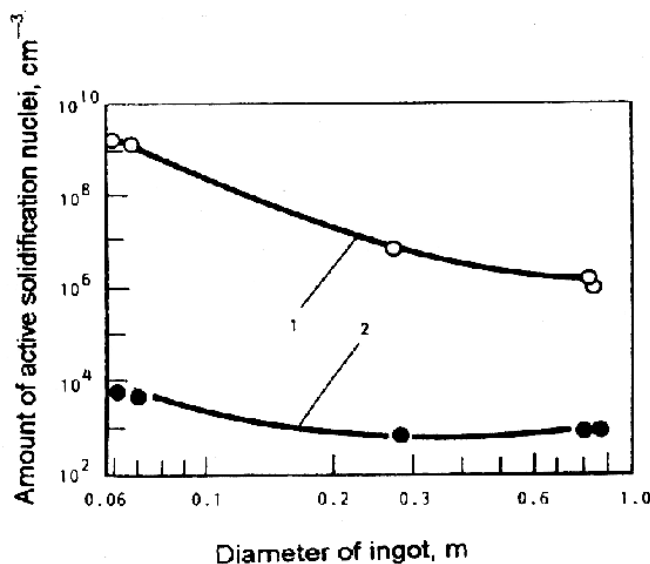
در مذاب فلزات ذرات ریز معلق وجود دارند که توسط مذاب تر نمی شوند و نسبت هیدروژن آزاد بر روی سطح این ذرات بسیار ریز کمتر از ۰.۱٪ است. این مقدار برای حفره زایی اولیه کافی اند. علاوه بر این بر روی سطوح اکسیدی موجود در مذاب فلزات که ترشوندگی خوبی ندارند و هیدروژن ها جذب سطحی سطوح این عیوب می شوند.

با عملیات اولتراسونیک نفوذ گازها در یک جهت واحد از مایع به حباب اتفاق می افتد. این نفوذ جهت دار اضافه بر نفوذ گازهای جذب شده در مذاب باعث بهبود تشکیل حباب ها در مذاب شده و با رسیدن حباب ها به اندازه ای مشخص بر روی سطح مایع شناور می شوند. [3]

مکانیزم های تاثیر اولتراسونیک بر جوانه زنی

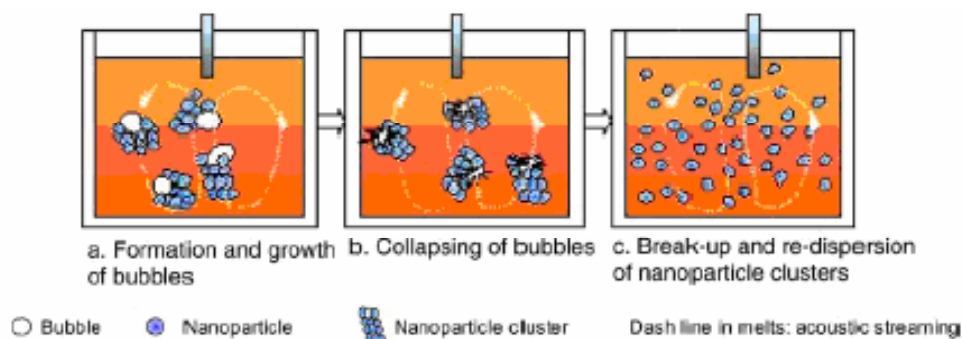
تاثیر اولتراسونیک بر جوانه زنی دانه ها بوسیله ایجاد حفرات (cavitation)، با مکانیزمهای زیر مطرح شده است:

- ۱- حفرات ایجاد شده، سطح ذرات که آغشته پذیری ضعیفی با مذاب دارند را تمیز کرده و بنابراین جوانه زنی غیر همگن در آنها انجام می شود و ساختار دانه ریز را خواهد شد. [4]
- ۲- طبق رابطه کلازیوس - کلاپیرون با ایجاد فشارهای موضعی، دمای ذوب آلیاژ در برخی نقاط افزایش می یابد و بنابراین مقدار تحت تبرید مذاب را افزایش داده و در نتیجه باعث افزایش جوانه زنی می گردد که نهایتاً منجر به ایجاد ساختار دانه ریز می شود.
- ۳- در نیمه پر یود فشاری (انقباضی) این حفرات، زمانی که جابهای با فشار بالا متلاشی می شود، باعث متلاشی شدن دانه های درشت و ریز شدن آنها و جوانه زنی دانه های ریز می شود، که این تاثیر در شکل (۲) نشان داده شده است. [5]



شکل ۲- سیستمهای آلیاژی Al-Zn-Mg-Cu-Zr (۱) ریخته گری با UST (۲) ریخته گری بدون UST

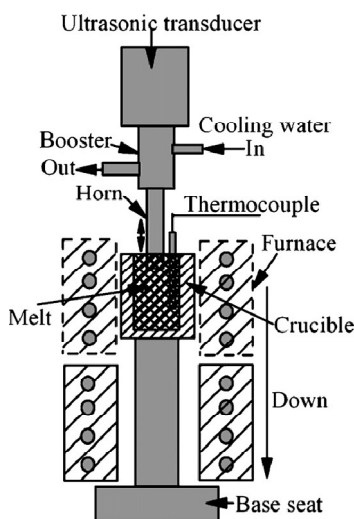
همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می شود در اثر مکانیزم حفره زایی، حبابهایی ایجاد می شود که در اثر انفجار آنها جدا شدن و توزیع ذرات رخ می دهد و علاوه بر آن سطح ذرات تمیز شده و ترشوندگی آنها افزایش می یابد.



شکل ۳- شماتیکی از تاثیر حفره زایی بر توزیع و ترشوندگی نانو ذرات در فلز مذاب

روش انجام آزمایش بدین صورت بود که پس از تهیه مذاب AZ91 تحت محافظت پوشش فلاکسی با نام تجاری MAGREX، مذاب به دمای 700°C رسانده شده و به مدت زمان ۵ دقیقه در این دمای ثابت، توسط دستگاهی با توان اسمی 600W و فرکانس 20KHz تحت عملیات اولتراسونیک با توانهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد قرار گرفت و نهایتاً پس از ریخته گری در قالب ماسه، CO_2 تغییرات ساختاری در هر کدام از این شرایط بررسی می شد. پارامترهای مورد بررسی شامل اندازه دانه ها، اندازه، شکل و پیوستگی فازهای Mg_2Si ، $\text{MnFeAl}(\text{Si})$ و $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ بود.

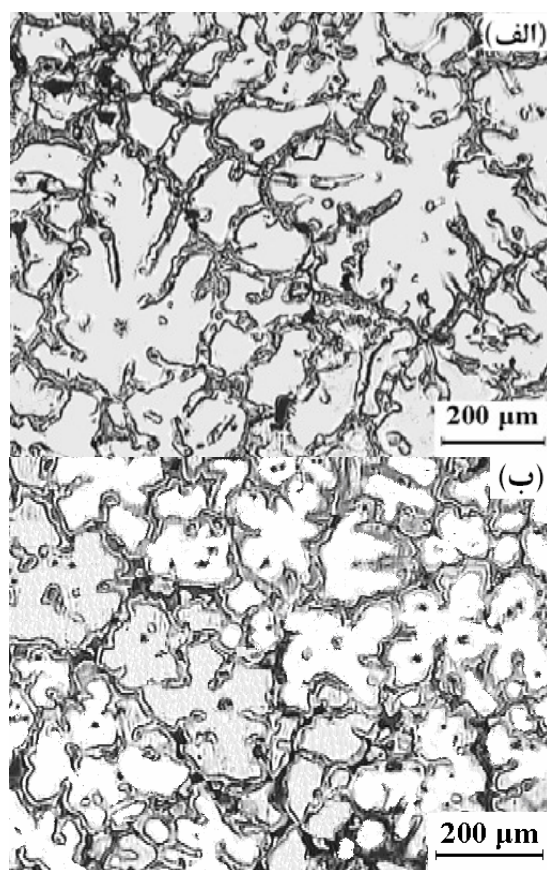
شکل شماتیکی از دستگاه اولتراسونیک مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۴) آورده شده است. [4]



شکل ۴- شماتیک از دستگاه آلتراسونیک مورد استفاده.

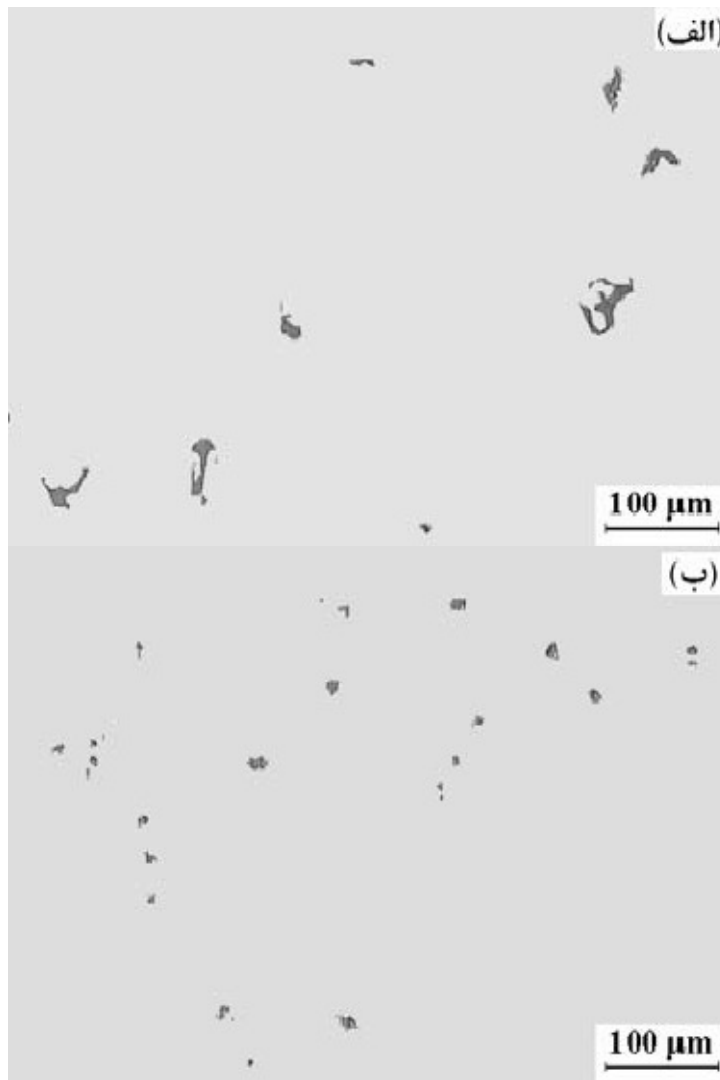
تأثیر عملیات اولتراسونیک بر ریزساختار

شکل (۵) ریز ساختار را در دو نمونه با و بدون UTS نشان می دهد، در شکل ۵ (الف) که بدون عملیات آلتراسونیک می باشد، دانه ها درشت تر است در حالی که در شکل ۵ (ب) که به مدت ۵ دقیقه و در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد تحت UTS با توان ۶۰٪ قرار گرفته، دیده می شود که اندازه دانه ها ریز تر و یکنواخت تر شده است و همچنین شکل دندریتها تحت UTS بیشتر به صورت دانه های هم محور ریز در آمده است. علل این تغییرات عبارتند از افزایش آغشته پذیری سطح ذرات و در نتیجه افزایش مکانهای جوانه زنی غیر همگن، افزایش دمای مذاب در برخی نقاط در اثر ایجاد فشارهای موضعی و بنابراین افزایش تحت تبرید مذاب و همچنین متلاشی شدن جابهای ایجاد شده در اثر عملیات آلتراسونیک در نیمه پرپود فشاری که سبب ریز شدن و متلاشی شدن دانه های درشت می شود.



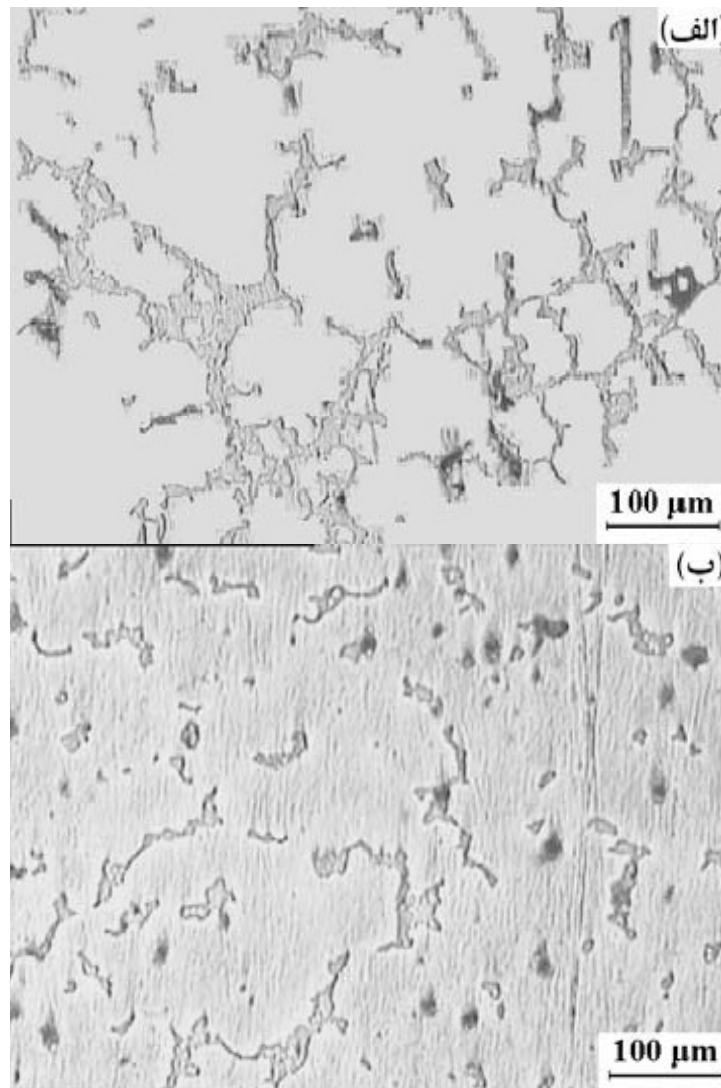
شکل ۵- ریزساختار AZ91 در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد: (الف) بدون UST (ب) تحت UST با توان ۶۰٪ به مدت ۵ دقیقه.

در این پژوهش فازهای Mg_2Si ، $MnFeAl(Si)$ و $Mg_{17}Al_{12}$ نیز مورد بررسی قرار گرفتند. شکل (۶) نمونه ای از تغییرات دانه های فاز Mg_2Si روی سطح مقطع اچ نشده را نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش توان اولتراسونیک، Mg_2Si موجود در ساختار، به صورت کروی و ریز در می آید.



شکل ۶- فاز Mg_2Si بدون UST (الف) و ۵ دقیقه UST با توان ۶۰٪: (ب)

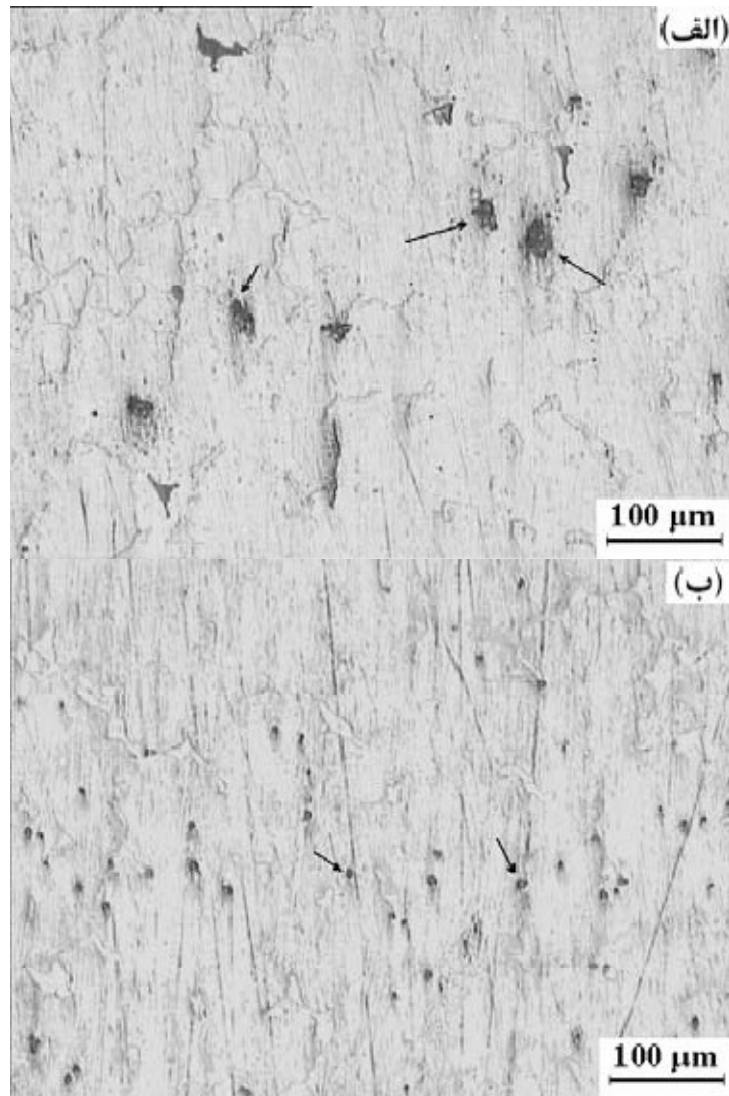
شکل (۷) تاثیر UST بر پیوستگی فاز $Mg_{17}Al_{12}$ را نشان می دهد. همانگونه که در این شکل دیده می شود، با اعمال UST از پیوستگی فاز $Mg_{17}Al_{12}$ کاسته می شود و علاوه بر این ضخامت آن هم کاهش می یابد.



شکل ۷- فاز $Mg_{17}Al_{12}$: (الف) بدون UST و (ب) ۵ دقیقه UST با توان ۲۰٪ در دمای ۷۰۰ درجه

سانتیگراد

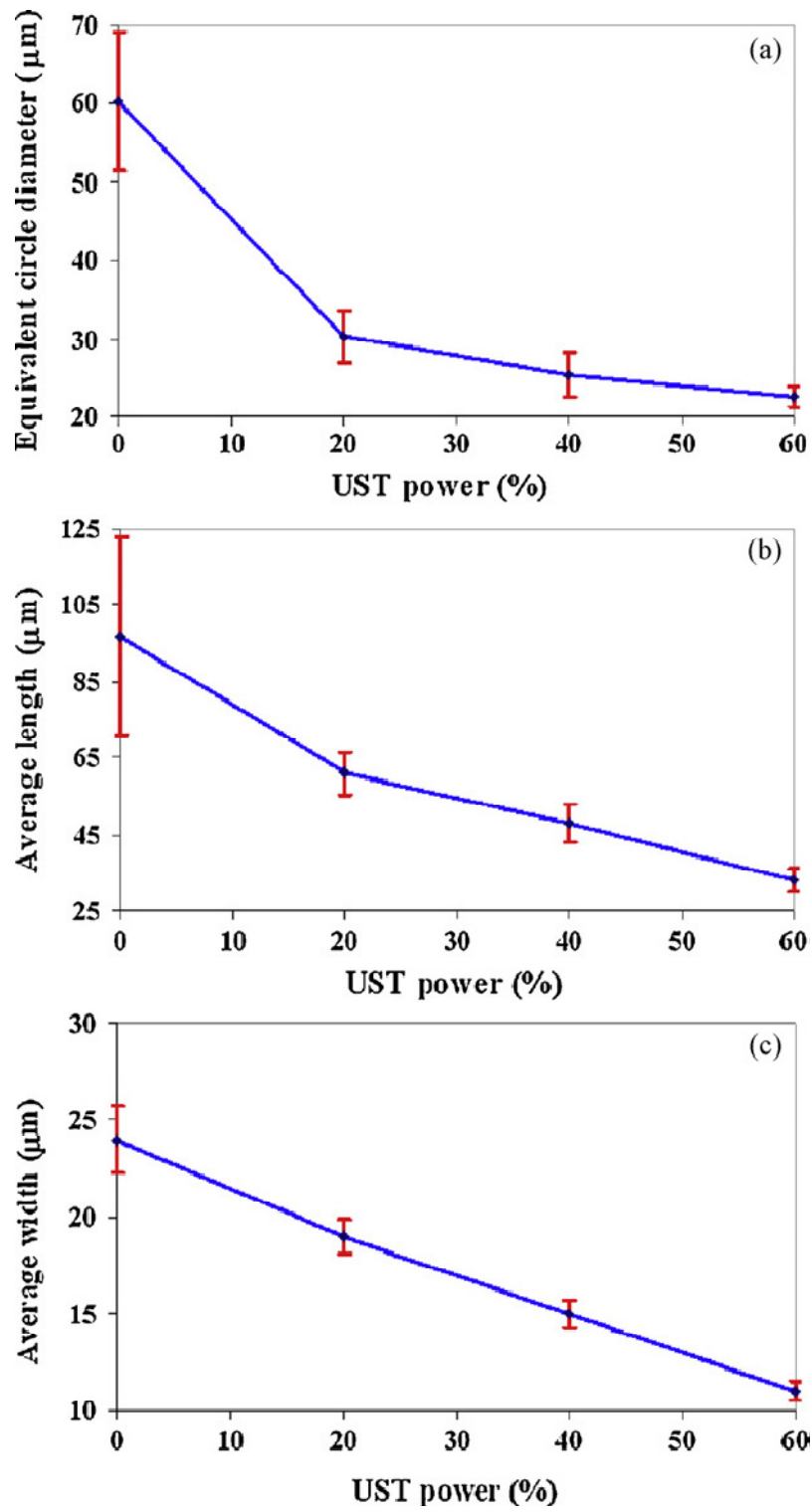
شکل (۸) تاثیر UST بر اندازه فاز $MnFeAl(Si)$ را در ساختار نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود، در اثر عملیات اولتراسونیک، اندازه فاز $MnFeAl(Si)$ که عموماً به صورت گرد می باشد نیز ریزتر می شود.



شکل ۸- فاز MnFeAl(Si): (الف) بدون UST و (ب) ۵ دقیقه UST با توان ۶۰٪ در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد.

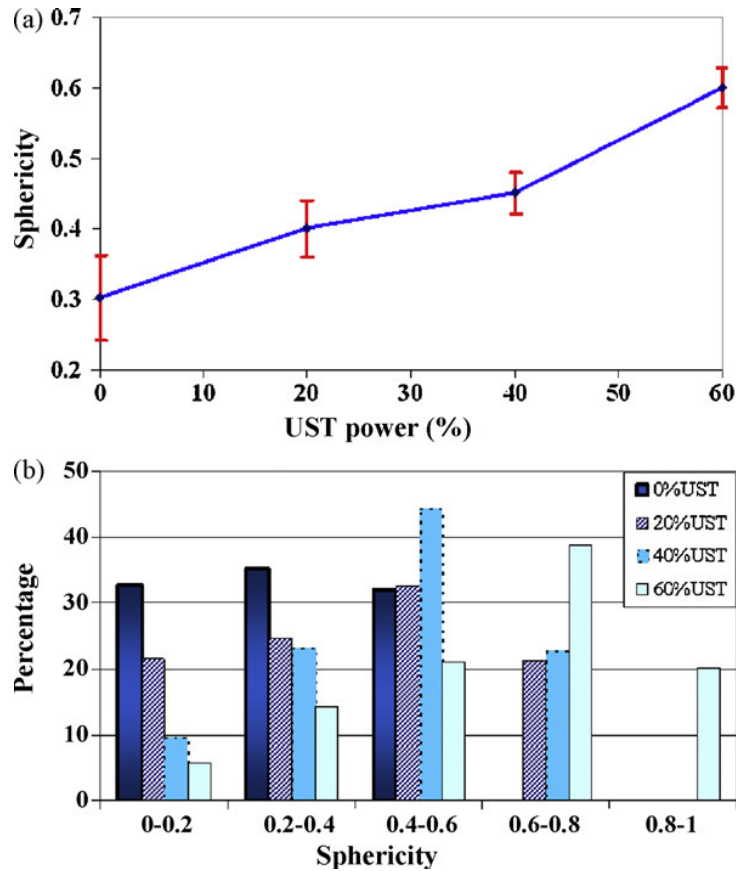
در اینجا مکانیزم حاکم، متلاشی شدن حفرات در نیمه زمانی فشاری (انقباضی) می باشد که سبب ریز شدن فازها و همچنین ریز شدن شبکه پیوسته $Mg_{17}Al_{12}$ می گردد. [5]

تاثیر قدرت UTS بر قطر معادل میانگین، طول و عرض ذرات $Mg_{17}Al_{12}$ در شکل ۹ نشان داده شده است. در شکل ۱۰ تاثیر قدرت اولتراسونیک کاربردی بر (a) کرویت (b) توزیع درصد کرویت ذرات $Mg_{17}Al_{12}$ نشان داده شده است.

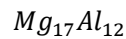


شکل ۹- تاثیر قدرت اولتراسونیک کاربردی بر (a) قطر معادل دایره (b) میانگین طول میانگین

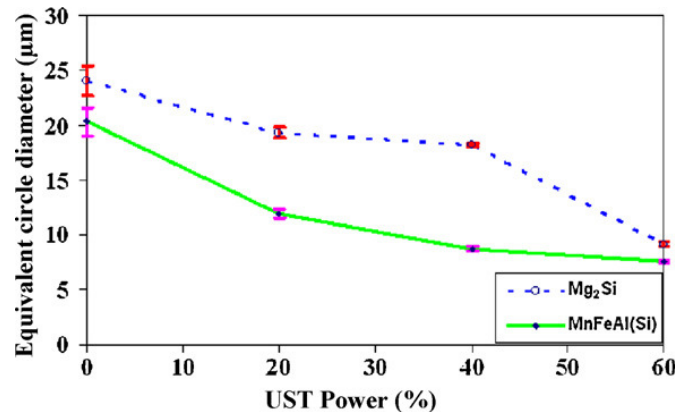
(c) عرض ذرات $Mg_{17}Al_{12}$



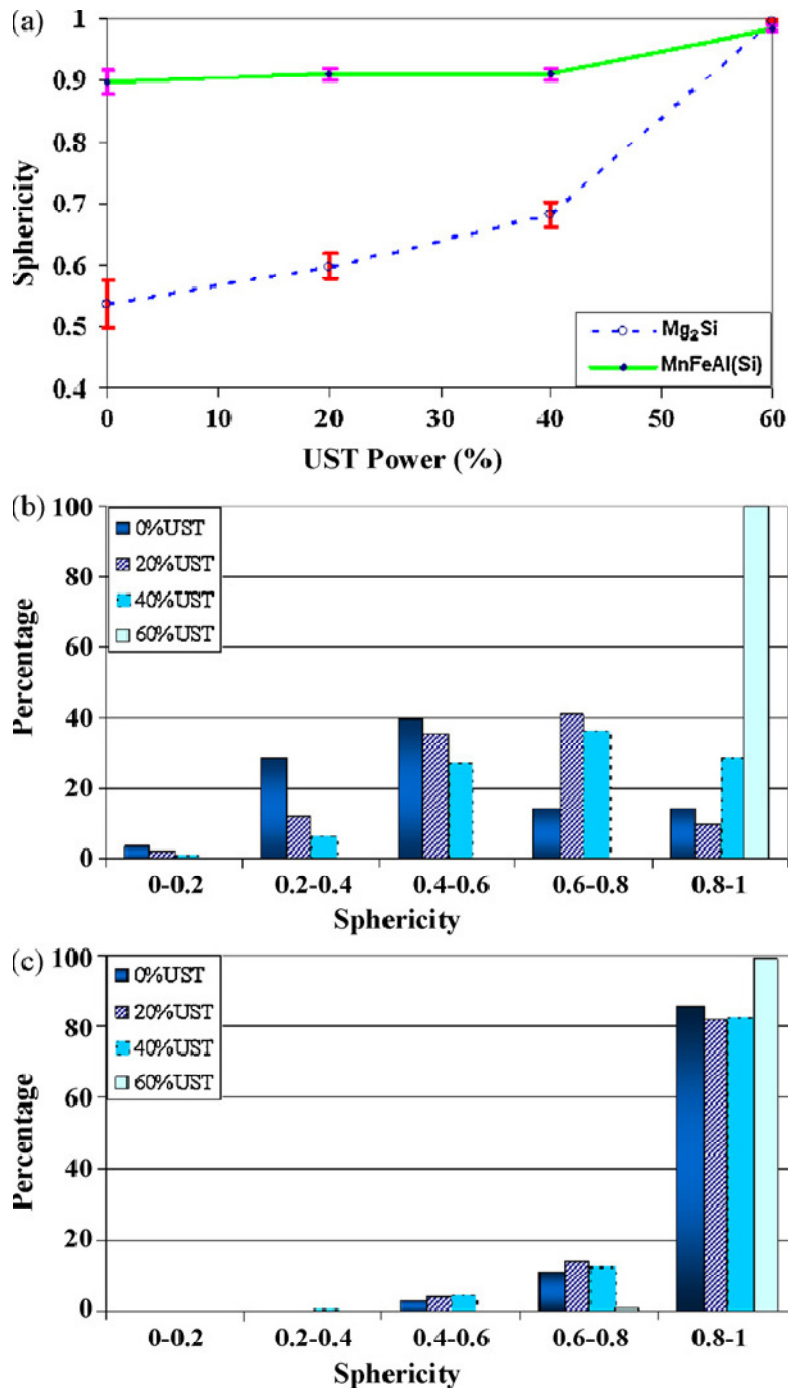
شکل ۱۰- تاثیر قدرت اولتراسونیک کاربردی بر (a) کرویت (b) توزیع درصد کرویت ذرات



شکل ۱۱ و ۱۲ نیز کاهش اندازه ذرات Mg_2Si و افزایش تمایل ذرات به کروی شدن با افزایش توان اولتراسونیک را نشان می دهد. به کار بردن ۶۰٪ از توان ماکزیمم، بیشترین ذرات ریز را تولید کرده و کرویتی بین ۰.۸ تا ۱.۰ دارند. شکل ۱۱ تاثیر توان اعمالی بر $MnFeAl$ را نشان می دهد.



شکل ۱۱- تاثیر قدرت اولتراسونیک اعمالی میانگین قطر معادل ذرات Mg_2Si و $MnFeAl$



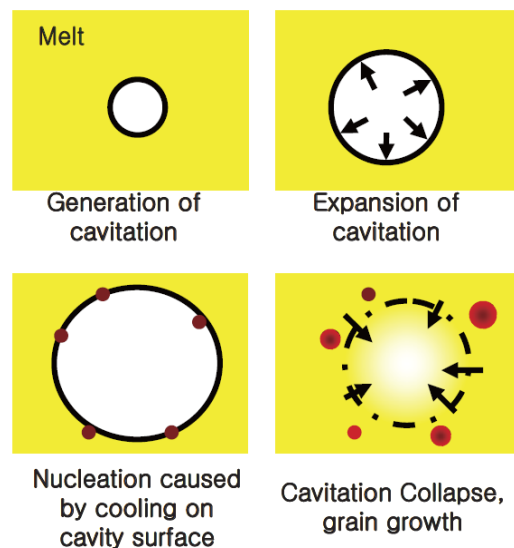
شکل ۱۲- تاثیر اولتراسونیک بر (a) کرویت ذرات Mg_2Si و $MnFeAl$ (b) توزیع درصد کرویت ذرات Mg_2Si (c) توزیع درصد کرویت ذرات $MnFeAl$

مکانیزم های موثر بر ریزساختار ترکیبات بین فلزی

۱- مکانیزم اصلی که شکل و اندازه ذرات فازهای بین فلزی را تغییر می دهد، پدیده حفره زایی است که سطح ذرات خارجی در مذاب را تمییر می کند و ترشوندگی ذرات توسط مذاب را بهبود می بخشد. بنابراین افزایش جوانه های ناهمگن فاز بین فلزی می گردد. این مکانیزم عمومی موثر بر هر سه فاز بین فلزی در آلیاژ است.

۲- مکانیزم موثر دیگر برای هر سه فاز بین فلزی، از هم پاشیدگی و توزیع ذرات جوانه های موجود کلوخه شده در مذاب توسط حفره زایی است و مکان های مناسب جوانه زنی موثر را افزایش می دهد.

۳- کاهش دمای سطحی حباب ها در نیمه زمان انقباضشان است و تبخیر مذاب از سطح حباب ها مکانیزم ممکن دیگر برای اصلاح ریزساختار تحت عملیات اولتراسونیک است. اگر دمای سطح قطره به حدی که فازهای بین فلزی بتوانند بر روی سطح حباب ها جوانه بزنند برسد و ترکیدن حباب را داشته باشیم باعث ریزشدن فازهای بین فلزی و توزیعی یکنواخت تر از فازهای بین فلزی می گردد (شکل ۱۳). [6]



شکل ۱۳- افزایش تعداد مکان های مناسب برای جوانه زنی

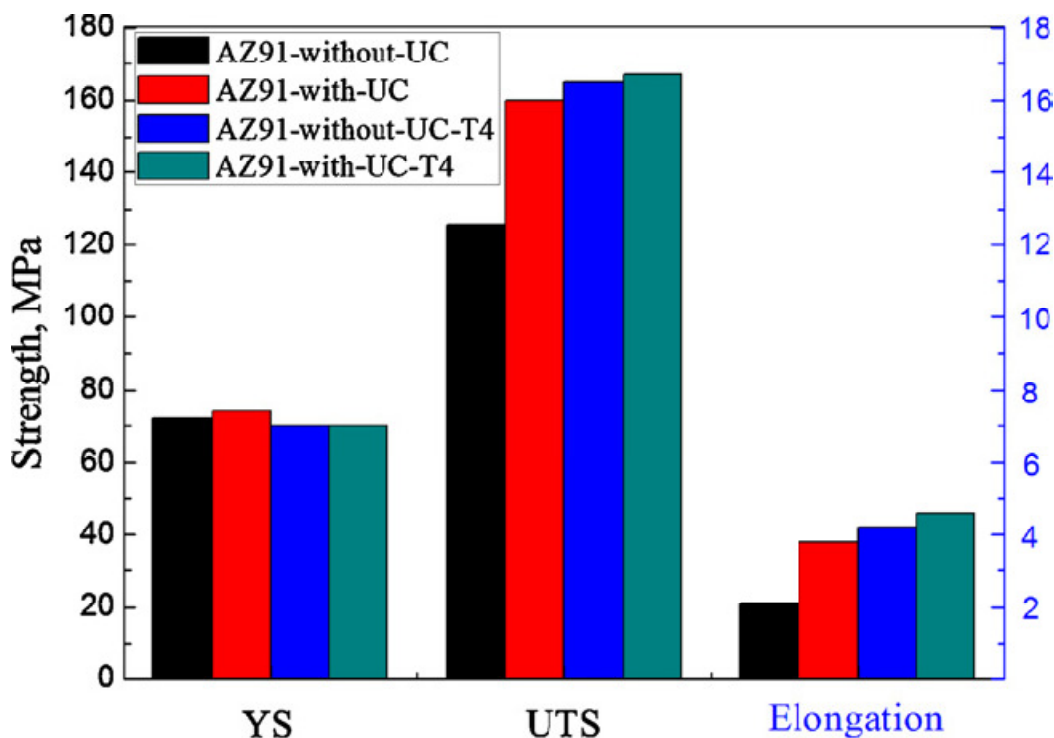
۴- وقتی دمای موضعی در مذاب در نیم دوره ی فشار بر حباب افزایش می یابد و قطعات نازکتر و سطوح تیز فازهای Mg_2Si و $MnFeAl$ که نسبتا در دمای اولتراسونیک شکل می گیرند و

دچار ذوب موضعی شوند. این پدیده تعداد جوانه های موثر بر رشد ذرات بین فلزی را افزایش نمی دهد ولی باعث کروی شدن ذرات می گردد. این مکانیزم برای ذرات $Mg_{17}Al_{12}$ موثر به نظر نمی رسد.

۵- فاز $Mg_{17}Al_{12}$ در مرحله اخر انجماد در مرزخانه های α -Mg شکل می گیرد. مکانیزم دیگری که بر چگالی جوانه زنی ذرات $Mg_{17}Al_{12}$ تاثیر می گذارند و افزایش مرزخانه های α -Mg اولیه را افزایش می دهد و بهبود یکنواختی ترکیب شیمیایی مذاب تحت اولتراسونیک را به همراه دارد که نتیجه اش رسوب فاز $Mg_{17}Al_{12}$ در مکان های بیشتر و کاهش پیوستگی و اندازه شان می گردد. [5]

تاثیر عملیات اولتراسونیک بر خواص مکانیکی

در شکل (۱۳) تاثیر اولتراسونیک و عملیات حرارتی محلول سازی بر روی خواص مکانیکی استحکام تسلیم σ_y ، استحکام کششی نهایی σ_{UTS} ، و ازدیاد طول تا شکست آلیاژ AZ91 نشان داده شده است.



شکل ۱۳- استحکام کششی آلیاژ AZ91 با لرزش اولتراسونیک و بدون لرزش اولتراسونیک و عملیات حرارتی محلول سازی

بر طبق رابطه هال-پچ داریم: $c_y = \sigma_0 + K_y d^{-\frac{1}{2}}$ که σ_y استحکام تسلیم و σ_0 و K_y ثوابت مواد و d اندازه دانه متوسط است. K_y وابسته به تعداد سیستم های است. این عدد برای فلزات با ساختار HCP بالاتر از FCC و BCC است و Mg ساختاری HCP دارد و اندازه دانه با عملیات اولتراسونیک ریز می شود و مزیت اندازه دانه ریزتر بر روی استحکام اشکار می گردد. [7]

نتیجه گیری

در اثر عملیات آلتراسونیک بر روی مذاب، اندازه دانه ها ریزتر شده و شکل آنها از دندریتهای ستونی یا هم محور درشت به دندریتهای ریز هم محور تغییر می یابد. اندازه فاز Mg_2Si در اثر UST کاهش یافته و همچنین شکل آن به سمت کروی شدن پیش می رود. اندازه فاز که عموماً به صورت گرد می باشد نیز در اثر UST ریزتر می شود، و نهایتاً فاز پیوسته $Mg_{17}Al_{12}$ در اثر عملیات آلتراسونیک به صورت ناپیوسته و با توزیع نسبتاً یکنواخت ریز تبدیل می شود که همه این عوامل بر خواص آلیاژ منیزیم AZ91 تاثیر می گذارد.

اصلاح دانه ها تغییر شکل توسط دوقلوبی ها را متوقف می کند و تغییر شکل توسط لغزیدن را افزایش می دهد که منجر به افزایش انعطاف پذیری می گردد. [8]

مطالعات قبلی بر روی لرزش اولتراسونیک با شدت بالا در آلیاژ مذاب باعث خلق تعداد زیادی از میکروتخلخل ها در مذاب نزدیک سطح اولتراسونیک/شاخک ارتعاش می گردد. تعداد تخلخل ها با افزایش توان اولتراسونیک افزایش می یابد. در طول مرحله رشد حفرات کوچک، حجم حفرات افزایش می یابد که فشار داخلی حفرات کاهش می یابد، در دماهای پایتتر تمایل به حفرات کمتر است. [9]

کاهش دما در حفرات و در سطح مشترک مذاب/حفره بموجب فوق تبریدی که برای جوانه زنی ناهمگن محلی فاز جامد ایجاد می گردد. بیشتر حبابهای گازی شکل می گردند و متلاشی می شوند زیرا طبیعت لرزش اولتراسونیک متناوب است. وقتی که حفرات حباب ها متلاشی می شوند، جوانه ها شکل گرفته در فصل مشترک مذاب، در مذاب متفرق می شوند. [8]

- 1- Eskin G.L., "Ultrasonic Treatment of Light alloy melts", 1998, All-Russia Institute of Light alloys.
- [2] H.E. Friedrich, B.L. Mordike, Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications), Springer, Berlin, 2006.
- [3] G.I. Eskin, "Cavitation mechanism of ultrasonic melt degassing", All-Russia Institute of Light Alloys, Gorbunov St. 2, Moscow 121596, Russia
- [4] Xinbao Liu, Yoshiaki Osawa, Susumu Takamori, Toshiji Mukai, "Microstructure and mechanical properties of AZ91 alloy produced with ultrasonic vibration", Materials Science and Engineering A 487 (2008) 120–123
- [5] M. Khosro Aghayani, B. Niroumand, "Effects of ultrasonic treatment on microstructure and tensile strength of AZ91 magnesium alloy", Journal of Alloys and Compounds 509 (2011) 114–122
- [6] Sang-Woo Choi , GooHwa Kim , Jinsu Bae and Young-Deog Kim, "Ultrasonic Treatment for Fragmentation at Solidification of Aluminum Alloy", ICROS-SICE International Joint Conference 2009
- [7] K.B. Nie, X.J. Wang, K. Wu, M.Y. Zheng, X.S. Hu, "Effect of ultrasonic vibration and solution heat treatment on microstructures and tensile properties of AZ91 alloy", Materials Science and Engineering A 528 (2011) 7484– 7487
- [8] Deming Gao, Zhijun Li, Qingyou Hanc, Qijie Zhai, "Effect of ultrasonic power on microstructure and mechanical properties of AZ91 alloy", Materials Science and Engineering A 502 (2009) 2–5
- [9] Xinbao Liu, Yoshiaki Osawa, Susumu Takamori, Toshiji Mukai, "Grain refinement of AZ91 alloy by introducing ultrasonic vibration during solidification", Materials Letters 62 (2008) 2872–2875