

# عملیات حرارتی آلیاژهای آلومینیوم مس

ورق آلومینیوم یکی از پرکاربردترین محصولات بعد از محصولات آهنی و فولادی است. ولی این فلز پرکاربرد استحکام و مقاومت آهن را ندارد و بیش از حد نرم و شکننده است که حتی با دست هم بریده می شود. از این رو، آلومینیوم را با عناصر مختلف آلیاژ می کنند تا ویژگی های بهتری برای کاربردهای مختلف پیدا کند. یکی از عناصری که آلومینیوم را با آن آلیاژ می کنند مس است که خواص فوق العاده ای به آن میبخشد. آلیاژ آلومینیوم مس دارای ویژگی هایی همچون استحکام، ضد خوردگی، مقاومت در برابر فرسایش و ساییدگی است و نسبت به نوع معمولی دوام و ماندگاری بیشتری دارد. اما در کنار ویژگی های گفته شده، این آلیاژ کاربردی، نیاز به چیز دیگری دارد تا استحکام بیشتر و ویژگی های بهتری پیدا کند. یک سری عملیات حرارتی روی این آلیاژ اعمال می شود که در ادامه مطلب مفصلاً راجع به انواع آنها و دلیل استفاده از این عملیات توضیح داده خواهد شد.



## خواص عملیات حرارتی آلومینیوم مس

همانطور که قبلاً گفته شد، آلیاژسازی آلومینیوم با مس ویژگی های فیزیکی ویژه ای به آلومینیوم میدهد. اما این کار برای رسیدن این آلیاژ به خواص مکانیکی مناسب کافی نیست زیرا برخی قطعات نیازمند آلیاژهایی هستند که بتوانند در دماهای بالا و تنش زا مقاومت کنند. عملیات حرارتی آلیاژهای آلومینیوم مس اعمال می شوند نه تنها باعث افزایش استحکام آلیاژ خواهد شد بلکه خواص دیگری همچون امکان جوشکاری، افزایش قابلیت ماشین کاری، افزایش مقاومت به تنش و دما، مقاومت به سایش، مقاومت به ضربه، حذف تنش از قطعات ریخته گری شده را تقویت می کند. بنابراین

اینگونه باید نتیجه گرفت که عملیات حرارتی باعث افزایش خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم مس می شوند.

## خدمات عملیات حرارتی آلومینیوم

ابزار و تجهیزات لازم برای عملیات حرارتی در چهار دسته قرار می گیرند.

۱. کوره ها: شامل کوره الکتریکی، کوره خلأ، کوره شعله ای، کوره الکتریکی، کوره مداوم، کوره بستر سیال، کوره حمام نمک و کوره اتمسفر کنترل است.
۲. محیط های خنک کننده: برای خنک کردن آلیاژهای آلومینیوم مس از محیط های خنک کننده مثل آب، هوا، حمام نمک یا روغن استفاده می کنند.
۳. تجهیزات حمل مواد: برای حمل مواد بعد از یا حین انجام عملیات حرارتی از ابزارهای نظیر فیکسچرها، انبرها، سبد و جرثقیل استفاده می شود.
۴. ابزار سختی سنج: وسایلی که در این راه مورد استفاده قرار می گیرند شامل راکول، برینل و ویکرز هستند.

## انواع عملیات حرارتی آلومینیوم

هر عملیات حرارتی طی یک سری مراحل انجام می شود که یک نمونه از آن را در اینجا معرفی می کنیم. آنچه در طول این عملیات حرارتی برای آلیاژ آلومینیوم مس اتفاق می افتد به قرار زیر است:

- ایجاد یک لایه مقاوم روی سطح آلیاژ
- حذف تنش هایی که در طول تولید آلیاژ درون آن ایجاد می شوند.
- ظریف و ریز شدن ساختار درونی آلیاژ که به چکش خواری و شکل پذیری آن کمک می کند.
- مقاوم شدن سطح آلیاژ به سایش
- افزایش یکنواختی ساختار درونی آلیاژ

لازم به ذکر است نوع عملیات حرارتی و مدت زمان آن روی آلیاژ آلومینیوم مس به نوع کاربرد آن بستگی دارد.

- **مرحله اول: نرمالایزینگ یا Normalizing**

این فرایند به هدف کاهش دادن میزان تردی آلیاژ و ریزتر کردن ساختار درونی آن انجام می شود. برای نرمالایز کردن آلیاژ آلومینیوم مس آن را تا دمای آستینیته حرارت می دهند. سپس آلیاژ را در دمای محیط هوادهی می کنند تا به دمای قبلی خود برسد. یکی از مزایای نرمالایزینگ کردن آلیاژ آلومینیوم مس افزایش خاصیت ماشین کاری آن است. یکی دیگر از مزایای این عملیات این است که آلیاژ آلومینیوم مس پس از نرمالایز شدن به حالت ثابت و استیبل درمی آید و اگر عملیات حرارتی دیگری روی آن انجام شود برای آن آماده خواهد بود.

- **مرحله دوم: انجام فرایند آنیلینگ Anealing**

فرایند آنیلینگ بعد از انجام فرایند نرمالایزینگ و به منظور افزایش خاصیت چکش خواری آلیاژ آلومینیوم مس و مقاومت آن به شکسته شدن در مراحل سرد کاری اجرا می شود. در طی این فرایند، آلیاژها تا دمای خاصی حرارت داده می شوند و بعد تا مدت زمان خاصی در همان درجه حرارت نگهداشته می شوند. بعد از آن طبق استانداردهای خنک کاری و با سرعت مشخصی آلیاژهای آلومینیوم مس را سرد می کنند. در پایان فرایند آنیلینگ، آلیاژها ساختاری یکنواخت پیدا کرده و دانه بندی آنها ظریف تر می شود. این آلیاژها به شکسته شدن در برابر شوک های حرارتی و عملیات سرد کردن مقاومت نشان می دهند و از همه مهمتر چکش خواری آنها نیز بهتر خواهد شد.

- **مرحله سوم: فرایند آنیل کامل Full Anealing**

این فرایند برای آلیاژهای آلومینیوم مس زمانی انجام می شود که بیشترین حالت نرمی، شکل پذیری، چکش خواری و ماشینکاری برای آنها مد نظر باشد. در این فرایند ساختار آلیاژهای آلومینیوم مس به صورت طبیعی کریستال سازی می شود.



- **مرحله چهارم: عملیات آنیلینگ تنش زدایی Stress Relief Annealing**

آلیاژهای آلومینیوم مس در طول مراحل مختلف نظیر برشکاری، چکش خواری، تورق، مفتول زنی و غیره دچار تنش می شوند که باعث ایجاد ناهمگونی در قطعه ساخته شده از آلیاژ آلومینیوم مس می گردد. برای رفع این تنش از فرایند آنیلینگ تنش زدایی استفاده می کنند. به این ترتیب که ابتدا قطعه ساخته شده از آلیاژ آلومینیوم مس را تا دمای معینی حرارت می دهند و بعد آن را آرام آرام خنک می کنند تا به دمای محیط برسد. باید در طی انجام این فرایند دقت کافی اعمال گردد و تمام سطح کار به طور همزمان و یک اندازه خنک شود. سرد شدن تدریجی آلیاژ آلومینیوم مس باید تا مغز آن ادامه پیدا کند زیرا با این کار تنش های داخل آلیاژ آزاد شده و آلیاژ مورد نظر ساختار پایدار و یکنواختی پیدا می کند.

- **مرحله پنجم: فرایند آنیلینگ مربوط به ریخته گری ها**

این فرایند آنیلینگ برای آلیاژهای آلومینیوم مسی است که قرار است تحت فرآیندهای ریخته گری قرار بگیرند. مدت زمان این فرایند حدود دو الی چهار ساعت است و دمایی که آلیاژها با آن گرم می شوند حدود ۳۱۵ الی ۳۴۵ درجه سانتیگراد خواهد بود.

- **مرحله ششم: رسوب سختی یا precipitation Hardening**

در این فرایند آلیاژهای آلومینیوم مس با قرار گرفتن در کوره های مخصوص و در معرض برخی عناصر دیگر سخت و محکم می شوند. آلیاژها در این کوره ها حرارت می بینند و بعد در معرض عناصر دیگر مثل روی قرار داده می شوند. آلیاژها با جذب عنصر و خنک سازی تدریجی، سطحی سخت و محکم پیدا می کنند در حالی که لایه های داخلی آنها نرم و قابل انعطاف باقی می ماند. لایه رسوبی شما گرفته روی سطح آلیاژ آن را نسبت به شرایط مختلف مثل خوردگی مقاوم می کند. هر چقدر لایه رسوب ضخیم تر شود میزان استحکام و سختی آلیاژهای آلومینیوم مس نیز افزایش می یابد.

- **مرحله هفتم: عملیات خنک کاری و سرد کردن سریع**

این مرحله برای افزایش استحکام و سختی آلیاژهای آلومینیوم مس بسیار حائز اهمیت است. ابتدا آلیاژ تا دمای معینی گرم می شود و بعد به طور ناگهانی در محیط های مختلف مثل آب، هوا، روغن یا محلول های پلیمری سرد می شود. این سرد شدن ناگهانی اجازه نمی دهد تا اتم ها و مولکول ها از هم جدا شده و از همین جهت به طور ناگهانی در جای خود حبس می گردند و در نهایت باعث سخت شدن آلیاژ آلومینیوم مس می شوند.

- **مرحله هشتم: عملیات حرارتی مجدد**

در این مرحله که مرحله پایانی عملیات حرارتی است، یکبار دیگر آلیاژهای آلومینیوم مس تحت حرارت بالا قرار می گیرند و یک ساعت در همان دما باقی می مانند. بعد از این یک ساعت به طور تدریجی و آرام آلیاژ خنک سازی می شود تا هر گونه تنش نامتعرف یا ناهمگونی به طور کامل حذف شود. آلیاژهای آلومینیوم مس که تحت عملیات حرارتی قرار می گیرند دارای سطحی سفت، سخت، غیر قابل سایش، غیرقابل خوردگی، چکش خوار، انعطاف پذیر با ساختاری ریز و ظریف هستند و برای استفاده در صنایع گوناگون مورد استفاده قرار می گیرند.

## عملیات حرارتی پیرسختی

نوع دیگری از عملیات حرارتی برای آلیاژهای آلومینیوم مس وجود دارد که به آن عملیات پیرسختی Age Hardening گفته می شود و در سه مرحله اجرا می شود.

۱. در این مرحله ابتدا آلیاژ آلومینیوم مس تحت حرارت بالا قرار گرفته تا کاملاً حل شود.
۲. در مرحله بعد، آلیاژهای ذوب شده تحت فرایند کوئینچ به سرعت سرد می شوند و در این حالت اتم های آلیاژی فرصت بازگشت به حالت اولیه را نمی یابند که در این حالت یک محلول جامد فوق اشباع شده تولید می شود.
۳. این مرحله به پیرسازی Aging معروف است که در طی آن آلیاژهای آلومینیوم مس در دمایی پایین تر از دمای بحرانی حرارت داده می شوند تا عناصر آلیاژی اضافی خارج و به شکل رسوب روی سطح قطعه ظاهر شوند. چنانچه این عملیات در دمای محیط انجام گردد به آن پیرسازی طبیعی و اگر در دمای کوره ای اجرا شود به آن پیرسازی مصنوعی می گویند. نکته لازم به ذکر این است که اگر آلیاژ در دمای بالا مدت زمان بیشتری را بماند پدیده Over Aging اتفاق می افتد که نه تنها استحکام آلیاژ را بیشتر نمی کند بلکه منجر به شکننده و ضعیف شدن آلیاژ می گردد.



## عملیات حرارتی آنیل انحلالی

یکی دیگر از انواع عملیات حرارتی انحلال یا solutionizing نام دارد. در طی این فرایند حرارتی ابتدا آلیاژهای آلومینیوم مس را با حرارت دادن به صورت محلول جامد در می آورند تا تمام عناصر آلیاژی درون آن ذوب شوند و سپس با فرایند کوئینچ آنها را یک مرتبه سرد می کنند. منظور از محلول جامد این است که دما باید به نقطه ای برسد که فقط عناصر

آلیاژی درون آلومینیوم ذوب شوند و خود آلومینیوم جامد بماند که اصطلاحاً به آن محلول جامد گفته می شود. در این فرایند زمان و میزان دما نقش عمده ای در استحکام و سختی آلیاژهای آلومینیوم مس دارند. بهتر است که دما در این فرایند نزدیک به دمای بحرانی باشد و نه بیشتر از آن، زیرا خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم در این حالت تضعیف می شود.

## حروف انگلیسی بعد از آلیاژهای آلومینیوم مس نشانه چه چیزی هستند؟

معمولاً بعد از هر آلیاژی یک حرف انگلیسی دنباله آن وجود دارد که نشان دهنده نوع عملیاتی است که روی آن اجرا شده:

### • حرف H

این حرف نشان می دهد که آلیاژ آلومینیوم مس مورد نظر تحت عملیات حرارتی رسوب سختی و خنک کردن قرار گرفته است.

### • حرف O

این حرف نیز نشان دهنده آن است که آلیاژ آلومینیوم مس با عملیات آنیل با گرم و سرد کردن کنترل شده و نه ناگهانی مستحکم شده است.

### • حرف T

حرف تی هم به ما می گوید که آلیاژ مزبور با عملیات پیرسختی و گاه خنک کاری به استحکام و سختی مورد نظر رسیده است.

### • حرف F

این حرف اگر به دنبال نام آلیاژ آلومینیوم مس بیاید تداعی گر آن است که آلیاژ تحت هیچ عملیات حرارتی قرار نگرفته است.

## جمع بندی

آلیاژهای آلومینیوم به طور کلی نقش بسزایی در صنایع مختلف ما دارند. یکی از این آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژ معروف آلومینیوم مس است که خواص هر دو فلز را دارد. این دو عنصر در کنار هم تبدیل به یک آلیاژ مستحکم با تمام خواص و ویژگی های مورد نیاز می شوند. در کنار آلیاژسازی آلومینیوم، انجام عملیات حرارتی باعث می شود که بهترین نتیجه از آلیاژ گرفته شود و دوام و استحکام آن نسبت به قبل از عملیات حرارتی چندین برابر افزایش یابد. اما باید دقت داشت که نوع عملیات حرارتی باید متناسب با ویژگی که از آلومینیوم انتظار می رود انتخاب شود. ضمن اینکه کوچکترین خطا در انجام عملیات نتیجه مطلوبی نداده و باعث خسارت می شود.