



## فولاد زنگ نزن سوپر آستنیتی

فولاد زنگ نزن سوپر آستنیتی (Superaustenitic Stainless Steels) **آلیاژی** با ساختار **fcc** و عناصر آلیاژی بالا هستند که معمولاً حاوی مقداری از عناصر جانشین مانند **کروم**، **مولیبدن**، **نیترژن** و مقدار کافی **نیکل** برای پایدار ساختن ریزساختار کاملاً آستنیتی هستند. این فولادها بر اساس مقدار مولیبدن طبقه بندی می شوند و معمولاً مقدار مولیبدن این فولادها ۴.۵ تا ۷ درصد است. افزودن ۰.۳ تا ۰.۵ درصد نیترژن استحکام تسلیم دو برابر فولاد زنگ نزن معمولی را ایجاد می کند. درصد بالای نیکل (۱۸ تا ۳۱ درصد) به همراه درصد بالای کروم و مولیبدن به آلیاژها مقاومت به **خوردگی** تنشی عالی می دهد. **مس** به برخی از آلیاژها افزوده می شود تا مقاومت به محیط کاهنده مانند اسید فسفریک داغ، اسید استیک و اسید سولفوریک رقیق را افزایش دهد.

### فولادهای سوپر آستنیتی با ۴.۵ درصد مولیبدن:

آلیاژهای آستنیتی با ۴.۵ درصد مولیبدن مانند AL 904L، 254SLX و JS700 مقاومت مناسبی را به خوردگی در آب دریا به عنوان سیستم لوله کشی از خود نشان داده اند. این فولادها جوشپذیری و کارپذیری خوبی داشته و به اشکال مختلف مانند لوله، ورق و فورجینگ ها در دسترس هستند. مقدار **نیترژن** در محدوده ۰.۴ تا ۰.۵ درصد مقاومت خوبی را در برابر حفره دار شدن و خوردگی شیاری دارند. درصد بالای نیکل (۲۵٪) و مولیبدن (۴.۵٪) مقاومت خوبی را در برابر خوردگی تنشی کلریدی نشان می دهد. آن ها هم چنین مقاومت به خوردگی بین دانه ای خوبی از خود نشان می دهند. کلر زنی (Chlorination) برای کنترل تخریب میکروبیولوژیکی برای کاهش خوردگی زیر رسوبات ضروری است، سطوح فلنج و واشر در آب های شور و دریا در معرض خوردگی شیمیایی قرار دارند.

### فولادهای سوپر آستنیتی با ۶ درصد مولیبدن:

فولادهای سوپر آستنیتی با ۶٪ مولیبدن در صنایع شیمیایی به خوبی شناخته شده هستند. آن ها حاوی ۲۰ درصد کروم، ۱۸ الی ۲۵ درصد نیکل و بیش از ۰.۱٪ نیترژن هستند. افزودن نیترژن منجر به بهبود استحکام، تثبیت ساختار آستنیت و بهبود مقاومت به خوردگی حفره دار شدن است. فولادهای سوپر آستنیتی با ۶ درصد مولیبدن **حقرمگی** و **شکل پذیری** بسیار خوب فولادهای آستنیتی سری ۳۰۰ را از خود نشان می دهند. فولادهای زنگ نزن سوپر آستنیتی با ۶ درصد مولیبدن، اشکال و کدهای ASTM/ASME آن ها به همراه لیست ترکیبات آن ها در جداول زیر در کنار فولادهای تپ ۳۰۴ و ۳۱۶ آورده شده است.

### ترکیب نامی فولادهای زنگ نزن سوپر آستنیتی به همراه ۳۰۴ و ۳۱۶

سایر	N	Mo	Ni	Cr	C	آلیاژ	UNS
-	-	-	8	18	0.03	304	30400S
-	-	2.5	12	17	0.03	316	31600S
Cu0.75	0.2	6.2	18	20.0	0.02	254SMO	31254S
Cu, max0.75	0.2	6.5	24.5	21	0.02	AL-6XN 1925hMo	08367N
Cu1.1	0.2	6.5	25	20	0.01	25-6 MO	08926N
Si0.41Mn, 1.39	-	6.5	24.5	21	0.018	AL-6X	08366N



## مشخصات ASTM/ASME برای اشکال مختلف AL-6XN 08367N

نام آلیاژ	UNS	ورق، پلیت و نوار	لوله مبدل حرارتی	لوله	فورجینگ‌ها	اتصالات	میله، تیر و سیم
AL-XN6	08367N	A 240, B/ SB688	A/SA 249	A312; B/ SB675, 690, 829	B/SB564, A 182 F62	462B	691B/SB

اگرچه تفاوت ترکیب شیمیایی، سه فولاد سوپر آستنیتی Mo 6% با UNS متفاوت (UNS 31254S, 08367N, and 08926N) را پدید آورده اما این فولادها برای بسیاری از کاربردها، مقاومت به خوردگی مشابهی دارند و به عنوان جانشین یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صد آهن فولادهای سوپر آستنیتی کمتر از ۵۰ درصد است و بنابراین فولادهای این دسته به جز SMO 254 در محدوده فولادها، فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای مربوطه ASTM قرار نمی‌گیرند. اخیراً آلیاژهای ۶٪ مولیبدن با فولادهای N08031، S32050 و B26 (UR B36) متحول شده اند که فولاد سوپر آستنیتی حاوی Ni 25%، Cr 20% و ۰.۲ درصد نیتروژن هستند. نوعی از فولاد زنگ نزن 6Mo با ۲۵ درصد نیکل مزیت‌هایی بر فولاد زنگ نزن 6Mo با ۱۸ درصد نیکل دارد. برخی از این مزایا عبارتند از:

- بهبود پایداری آستنیت

- بهبود مقاومت به خوردگی تنش

- بهبود پسیو شدن

- تشکیل آهسته تر رسوبات، حتی در محدوده دمایی 700°C-1000°C

- کاهش سینتیک حساس شدن

## مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن سوپر آستنیتی:

در کل، فولادهای سوپر آستنیتی پرالیاژ مقاومت عالی را در برابر خوردگی، حفره دار شدن، خوردگی شیاری و SCC نشان می‌دهند. فولادهای سوپر آستنیتی با ۶٪ مولیبدن در برابر خوردگی‌های موضعی و تنش در محیط اکسید کننده کلریدی، محلول‌های حاوی کلرید/سولفید و طیف وسیعی از فرآیندهای شیمیایی مقاومت می‌کنند. آن‌ها به طور گسترده در کاربردهای خشن در آب دریا مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملکرد فولادهای سوپر آستنیتی با ۶٪ مولیبدن مابین فولادهای زنگ نزن تیپ ۳۱۶ و ۳۱۷ و آلیاژهای پایه نیکل 625 و C-276 قرار می‌گیرد. برخی از فولادها به منظور مقاومت به برخی از محیط‌های خورنده، حاوی مقدار اضافی مس هستند که مقاومت آن‌ها را به طور کلی در برابر اسیدها ارتقا می‌دهد. فولادهای کاملاً آستنیتی با ۶٪ مولیبدن با مقدار Cr + Mo بالا شناسایی می‌شوند و PRE آن‌ها به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$PREN = \%Cr + 3.3(\%Mo) + 30(\%N)$$

عدد PRE در تمام فولادها از ۳۵ بیش تر است. مقاومت به حفره دار شدن برای فولادهای زنگ نزن سوپر آستنیتی در جدول زیر نمایش داده شده است.



عدد مقاومت به حفره دار شدن برای برخی از فولادهای زنگ نزن سوپرآستنیتی

PRE <sub>N</sub>	ترکیب مورد نیاز برای محاسبه PRE <sub>N</sub>			UNS	آلیاژ
	N <sub>2</sub>	Mo	Cr		
46.46	0.2	6.2	20.0	254SMO	31254S
45.46	0.2	6.5	21	AL-6XN /1925hMo	08367N
45.15	0.2	6.5	20.5	25-6 MO	08926N
42.45	-	6.5	21	AL-6X	08366N
57.26	0.35	7.2	22	27-7Mo	31277S

### کاربرد فولاد زنگ نزن سوپرآستنیتی:

در صنایع فرآیندی، فولادهای زنگ نزن با ۶٪ مولیبدن جانشمین فولادهای زنگ نزن معمولی شده اند که در اثر حفره دار شدن، خوردگی شیباری و خوردگی تنش-کلییدی تخریب شده اند. آن ها به طور گسترده در صنایع فرا ساحلی و نمک زدایی، حمل و نقل آب دریا، صنایع کلر و رنگبری، صنایع خمیر و کاغذ و واحدهای گوگرد زدایی مورد استفاده قرار می گیرند. تجهیزاتی که از فولادهای آستنیتی با ۶٪ مولیبدن ساخته شده اند، شامل مخازن تحت فشار، ستون ها، کندانسورهای خنک شونده با آب دریا، اواپراتور، مبدل های حرارتی، کریستالایزرها، پمپ ها، لوله کشی می شوند.

### جوشکاری فولاد زنگ نزن سوپرآستنیتی:

در کل، فولادهای زنگ نزن سوپر آستنیتی با ۶٪ مولیبدن جوشپذیری خوبی دارند. موضوع اصلی در هنگام استفاده از فولادهای زنگ نزن سوپر فریتی مقاومت به خوردگی کافی در جوش ها است. در هنگام جوشکاری، باید توجه خاصی به پدیده های زیر مبذول داشت:

۱- ترک داغ

۲- ریز جدایش عنصری

۳- رسوب فازهای بین فلزی

از آنجایی که مقدار کروم فولادهای Mo 6% کم است (<0.03%) خطر رسوب کاربید کروم در مرز دانه های ناحیه HAZ و در نتیجه حساسیت به خوردگی بین دانه ای قابل چشم پوشی است.

### فرآیندهای جوشکاری فولاد زنگ نزن سوپرآستنیتی:

مهمترین فرآیندهای جوشکاری مورد استفاده SMAW و GTAW اتوماتیک و دستی با فلز پرکننده هستند. فرآیند GTAW بدون فلز پرکننده باید تنها در مواردی استفاده شود که عملیات حرارتی آنیل محلول سازی ثانویه انجام می گیرد. فرآیند های GMAW، SAW و PAW اتوماتیک با فلز پرکننده نیز مورد استفاده قرار می گیرند. برای جوشکاری فولاد آستنیتی 6% Mo باید موارد زیر را در نظر داشت:



- ۱- استفاده از فلزات پر کننده که به اندازه کافی با مولیبدن آلیاژ شده به گونه ای است که جوش ها نسبت به فلز پایه مقاومت به خوردگی بیشتری دارند (فلز پر کننده ای که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرد آلیاژ ۳۵۲ با ۹ درصد مولیبدن است).
- ۲- اطمینان از تمیز بودن سطح قبل و پس از جوشکاری
- ۳- اطمینان از محافظت کافی هنگام جوشکاری
- ۴- محدود کردن حرارت ورودی و اندازه جوش برای پرهیز از ترک گرم فلز جوش

### عملیات حرارتی پس از جوشکاری فولاد زنگ نزن سوپرآستنیتی:

اگر فولادهای سوپرآستنیتی 6% Mo نیاز به آنیل یا تنش زدایی داشته باشند، آنها باید آنیل کامل شده و در آب کوئنچ شود. آنیل محلول سازی در دمای 1150°C-1250°C به همراه کوئنچ معمولاً استفاده می شود؛ این به یکنواخت کردن خواص محل اتصال جوش کمک خواهد کرد. عملیات حرارتی که در آن فولاد زنگ نزن 6% Mo در محدوده دمایی 705-1040°C قرار می گیرد، فولاد را در معرض رسوب فازسیگما، کاهش مقاومت به خوردگی و چقرمگی قرار خواهد داد. بر اساس ترکیب آلیاژ، تنش زدایی در دمایی حداکثر 600°C برای چندساعت، ممکن است در موارد خاص مورد استفاده قرار گیرد. در تمام موارد، سازنده باید از پیشنهادات تولیدکننده استفاده کند.

### مقاومت به خوردگی جوش فولادهای زنگ نزن سوپر آستنیتی:

عواملی که منجر به کاهش مقاومت به خوردگی جوش فولاد زنگ نزن سوپرآستنیتی می شوند و اقدامات لازم جهت غلبه بر آن ها عبارتند از:

- ۱- ریز جدایش مولیبدن در نواحی موضعی که معمولاً هنگامی که از فرآیند GTAW اتوماتیک استفاده می شود، رخ می دهد.
- ۲- نواحی ترکیب نشده. حرارت ورودی جوشکاری بالا می تواند نوارهایی از فلز پایه را در مناطق مجاور خط ذوب ایجاد کند، که ذوب شده اند اما با فلز پرکننده ترکیب نشده اند. این مشکل با کنترل حرارت ورودی و جلوگیری از سوختگی جوش برطرف می شود.
- ۳- شیار ها، ترک ها و ریزدرزها. مناطق خوردگی شیاری می توانند در ابتدا یا انتهای پاس های جوشکاری، بین پاس های جوشکاری یا زیر قطرات جوش ایجاد شوند.
- ۴- حساس شدن و رسوب کاربید. آلیاژهای با مقدار کربن کم ( $<0.02\%$ ) این مشکل را ندارند. افزایش مقدار مولیبدن و نیتروژن مقدار کربن یا حرارت ورودی قابل تحمل را افزایش می دهد.
- ۵- رسوب فازهای بین فلزی مانند فازهای سیگما و پی.
- ۶- آلودگی های سطحی که می توان آن را با ساینده ها یا اسیدشویی یا حلال های مناسب از بین برد.
- ۷- پوسته های اکسید سطحی یا رنگ که با فرآیند پوسته زدایی برطرف نشده اند.



۸- ترکیب گاز محافظ. افزودن نیتروژن به اندازه ۳ تا ۵ درصد حجمی به مشعل و گاز های پستی مقاومت به خوردگی را بهبود می بخشد.

۹- برای بهینه ساختن مقاومت به خوردگی در فلز جوش به خصوص در جوشکاری ماشینی باید این اقدامات انجام گیرد: آنیل پس از جوشکاری، تمیز کاری سطح پس از جوشکاری، اسید شویی برای بهبود مقاومت به خوردگی و پسیو کردن سطح.

#### منابع و پیوندها:

Heat Exchanger Design Handbook 2nd edition, Kuppan Thulukkanam, CRC Press, 2013

گرد آوری شده توسط دپارتمان شرکت پازش صنعت پارس پویا