

سخت کاری سطحی قطعات با استفاده از آلیاژهای استلایت

Hardfacing by Stellite Alloys

جلال دانش



۱- مقدمه

سخت کاری سطحی قطعات صنعتی با استفاده از سوپرآلیاژهای پایه کبالت استلایت یکی از چالشهای صنعتگران است. آلیاژهای استلایت به علت خواص منحصر به فرد خود در کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

هنگامی که حفظ سختی در دمای بالا، شرایط خورنده و انواع مکانیزمهای سایش مطرح باشند، استلایت‌ها به خوبی برتری‌های خود را به نمایش می‌گذارند.

معمولاً آلیاژهای مقاوم به سایش، مقاومت به خوردگی بالایی ندارند؛ یا آلیاژهای مقاوم به حرارت، نظیر اینکونل‌ها و اینکولوی‌ها، مقاومت به سایش پایینی دارند؛ ولی آلیاژهای استلایت بطور همزمان می‌توانند در سه جبهه با این مکانیزمهای مخرب فلزات بجنگند.

آلیاژهای استلایت مقاومت به سایش چسبان (Galling) بسیار خوبی دارند. به همین دلیل در شرایطی که آببندی فلز روی فلز^۱ نیاز باشد، گزینه بسیار مناسبی هستند. این ویژگی باعث شده تا در صنایع شیرآلات خاص صنعتی، پمپ‌های فرآیندی و کنترل ولوها شاهد به کارگیری آلیاژهای استلایت در سیت، گیت، بال و ... باشیم.

حفظ سختی و مقاومت به سایش در دمای بالا در آلیاژهای استلایت باعث شده تا در فرآیندهای شکل دهی گرم فلزات، نظیر اکستروژن و کشش سیم کاربردهای زیادی پیدا کرده باشند.

مقاومت به خوردگی در فلز مذاب، باعث شده تا در ساخت قطعات تحت سایش در وان‌های فلزات مذاب، بتوان آلیاژهای استلایت را بکارگیری کرد.

در این نوشتار، اصول کلی سخت کاری سطحی قطعات صنعتی با استفاده از آلیاژهای استلایت به روش جوشکاری مورد بحث قرار گرفته است. امید است این مطلب مورد استفاده صنعتگران بومی سازی قطعات خاص قرار گیرد.

۲- فرآیندهای پوشش دهی آلیاژهای استلایت بر روی قطعات

پوشش‌های مقاوم به سایش استلایت به یکی از روشهای زیر بر روی قطعات صنعتی پوشش دهی می‌شوند.

HVOF ^۲	* روش پاشش حرارتی
TIG ^۳	* جوش آرگون
Submerged Arc Welding	* جوش کاری زیر پودری
MIG ^۴	* جوش میگ
	* جوشکاری به روش PTA ^۵
Laser Weld Deposition	* جوشکاری لیزر

هریک از این روشها دارای نقاط قوت و ویژگی‌های خاص خود هستند. به عنوان مثال در روش HVOF، سرعت پاشش ذرات به مافوق صوت رسیده و دمای سطح قطعه نسبت به روشهایی مانند TIG یا PTA

^۱ Metal to Metal Sealing

^۲ High Velocity Oxy Fuel

^۳ Tungsten Insert Gas

^۴ Metal Insert Gas Welding

^۵ Plasma Transferred Arc Welding

بسیار پایین تر است. این روش چگالی بالایی ایجاد می‌کند ولی ضخامت حاصل از آن معمولاً کمتر از یک میلی‌متر است.

روش PTA که در آن از پودر فلز استفاده می‌شود، قابلیت اتوماتیک شدن خوبی دارد. این روش نرخ رسوب‌گذاری بالایی داشته و رقیق شدن توسط آهن زیر لایه کمتر در آن اتفاق می‌افتد.

شکل ۱ انواع روش‌های پوشش دهی را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

HVOF	TIG
PLASMA SPRAY	SMAW
Powder Welding	MIG
Laser Weld Deposition	PTA

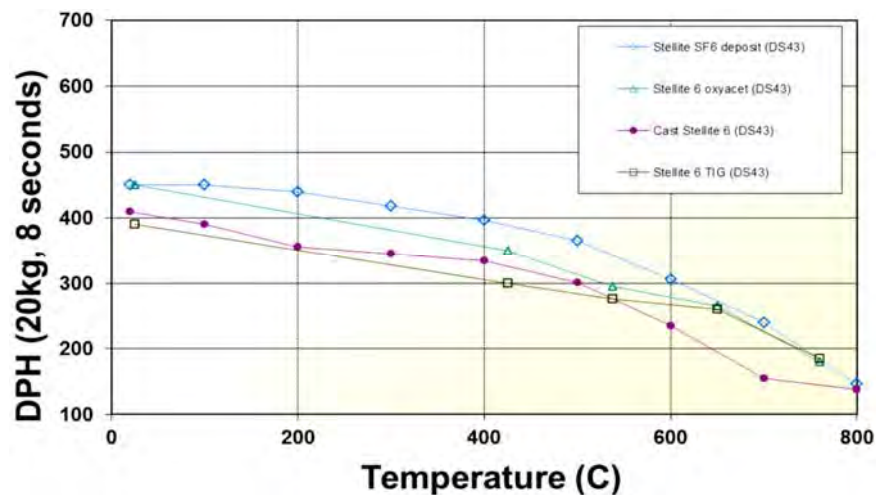
شکل ۱: روشهای مختلف سخت کاری سطحی

۳- آلیاژهای استلایت

آلیاژهای استلایت آلیاژهایی با پایه کبالت هستند. مهمترین عناصر آلیاژی استلایت ها، عناصر کربن، کروم، تنگستن، مولیبدن و نیکل می باشند.

همانطور که گفته شد استلایت ها مقاومت بسیار خوبی به گالینگ و سایش چسبان فلز روی فلز دارند. این آلیاژها نیاز به روانکاری کمی داشته و ضریب اصطکاک پایینی دارند. به همین دلیل نسبت به Sliding Wear مقاومت خوبی دارند. علاوه بر این آلیاژهای استلایت نسبت به اکسیداسیون دمای بالا، کاویتاسیون^۶ و فرسایش^۷ مقاومت مناسبی دارند.

روش تولید می تواند بر سختی حاصل از یک آلیاژ اثرگذار باشد. شکل ۲ سختی ۲ Stellite 6 حاصل از روشهای گوناگون تولید در دماهای مختلف را نشان می دهد.



شکل ۲: سختی ۲ Stellite 6 در روش های مختلف تولید

نظیر هر گروه از آلیاژهای دیگر، هر گرید استلایت برای یک دسته کاربرد خاص طراحی می شود و بر همین اساس ترکیب شیمیایی آن تنظیم می شود.

به عنوان مثال آلیاژهایی که جنبه مقاومت به خوردگی آنها بالاست، معمولاً دارای کروم ۲۸ تا ۳۲ درصد بوده و خواص خوردگی نظیر فولاد زنگ نزن 316 دارند.

به علت نقش اساسی کربن در ایجاد مقاومت به سایش یا مقاومت به خوردگی، آلیاژهای استلایت را می توان به دو دسته کلی زیر تقسیم بندی کرد:

^۶ Cavitation

^۷ Erosion

• استلایتهای کاربیدی ($C > 0.08\%$)

این استلایتهای توسط کاربیدهای کروم، تنگستن و یا مولیبدن استحکام می‌یابند و به دو صورت هیپوئوتکتیک (کاربیدهای $M_{23}C_6$) نظیر استلایت 6 و هایپروئوتکتیک (کاربیدهای M_7C_3) نظیر استلایت 1 گروه‌بندی می‌شوند.

• استلایتهای محلول جامد ($C < 0.04$)

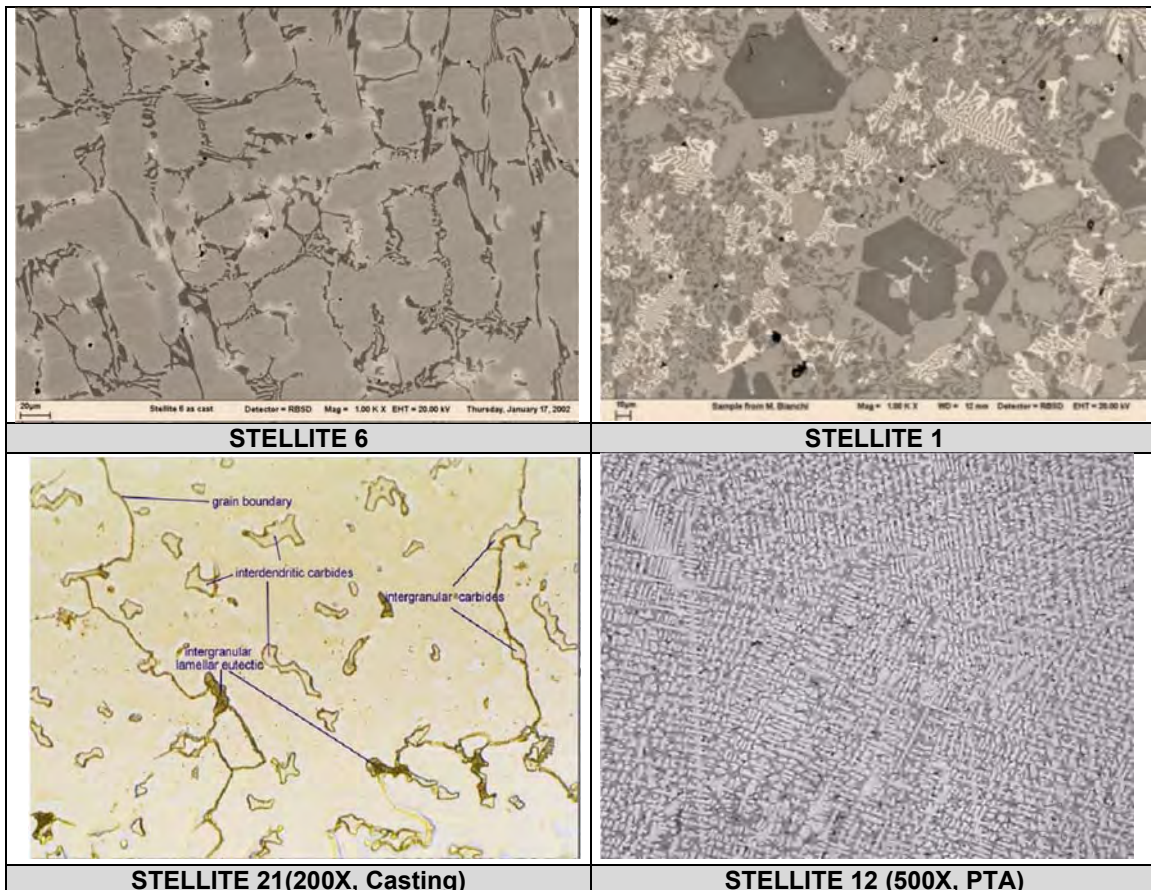
این دسته از آلیاژهای استلایت معمولاً مقاومت به ضربه و مقاومت به خوردگی مناسب‌تری نسبت به گروه اول دارند. این دسته را به دو گروه زیر می‌توان متمایز کرد:

○ آلیاژهای استلایت کبالت، کروم، مولیبدن (بدون تنگستن) نظیر Stellite 21

○ آلیاژهای استلایت کبالت، کروم، مولیبدن، نیکل (با تنگستن پایین) نظیر Ultimet

• آلیاژهای مقاوم به سایش توسط کار سخت شدن

شکل ۳ ریزساختار بعضی از آلیاژهای استلایت را نشان می‌دهد.



شکل ۳: ریزساختار بعضی از آلیاژهای استلایت

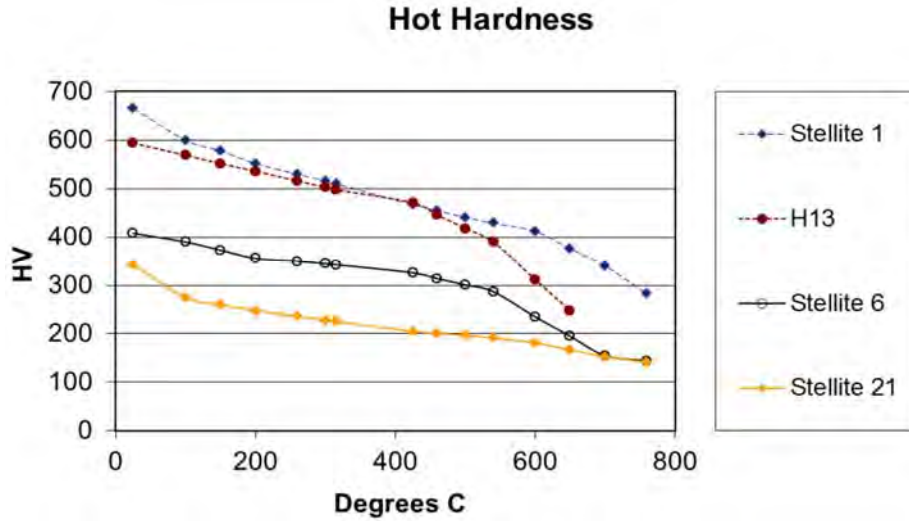
جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژهای معروف استلایت را نشان می‌دهد:

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژهای معروف استلایت

Alloy	C	Cr	Mo	W	B	Si	Fe	Ni	Co	Others	Density g/cm ³	Hardness (HRC)
Stellite 1	2.5	32	≤1	12		≤2	3	≤3	Bal.	Mn 1	8.69	51-56
Stellite 1C	1.8	24.5		12		1.1	≤3	2.5	Bal.	Mn 0.35	8.69	
Stellite 100	2	34		19		1	≤1	3	Bal.	Mn 1		
Stellite 107	2	31		4			≤2	24	Bal.	Mn 1		38-47
Stellite 12	1.5	29.5		8.5		1.5	≤2.5	3	Bal.	Mn 1	8.53	43-55
Stellite 152	0.95	21				0.5	≤2	2	Bal.	Mn 0.5		
Stellite 156	1.6	28		4		1.1			Bal.			46-54
Stellite 157	0.2	21		4.5	2.6	1.6	≤2	2	Bal.	Mn 0.5		54
Stellite 158	0.8	26		5.5	0.7	1.2			Bal.			46
Stellite 188	0.1	22		14	0.015		≤3	22	Bal.	Mn 1.25		52
Stellite 19	1.8	31		10.5		1	≤3	3	Bal.	Mn 1	8.36	45-60
Stellite 190	3.3	26		14		1	≤2.5	1	Bal.	Mn 0.5		54-59
Stellite 20	2.55	33		17.5		1	≤2.5	2.5	Bal.	Mn 1		52-62
Stellite 2006	1.3	31	8			1	18	8	Bal.			44
Stellite 2012	1.7	33	10			1.5	15	8	Bal.			50
Stellite 208	0.1	26	3				20		Bal.		8.53	47
Stellite 21	0.25	27	5.5			1.5	≤3	3	Bal.	Mn 1	8.41	28-40
Stellite 22	0.3	28	12			≤2	≤3	1.5	Bal.			41-49
Stellite 238	0.1	26	3			1	≤20		Bal.	Mn 1		20-25
Stellite 25	0.1	20		15		1	≤3	10	49.9	Mn 1.5		20-45
Stellite 250	0.1	28				1	20		Bal.		8.05	20-28
Stellite 251	0.3	28	≤1	≤1		≤0.75	16	≤3	Bal.	2% Nb		25-35
Stellite 3	2.3	30.5		12.5		1	1	1	Bal.		8.64	48-63
Stellite 306	0.5	25		3		≤2	≤4	6	Bal.	7% Nb		32-42
Stellite 31	0.5	25.5		7.5		1	≤2	10.5	Bal.	Mn 1		20-35
Stellite 33	2.2	32.5		17		1	0.5	0.75	Bal.	Mn 0.8	8.77	55-63
Stellite 35	2.25	33		16	0.35	0.75	1.8	1.8	Bal.	Mn 4		
Stellite 36	0.4	18.5		15	0.03	1	2	10	Bal.	Mn 1.5		31
Stellite 4	1	30		14		1	≤2	3	Bal.	Mn 1	8.8	40-50
Stellite 4 B	0.85	32		14		0.55	≤0.5	0.15	Bal.	Mn 0.3		42
Stellite 4LC	0.6	30		14		1	≤2	3	Bal.	Mn 1		
Stellite 506	1.6	35		7.5		1	≤3	3	Bal.	Mn 1		
Stellite 6	0.9-1.4	27-32		4-6		1.1	≤3	3	Bal.	Mn 1	8.4	36-45
Stellite 6B	1.1	30	1.5	4.5		2	≤3	3	Bal.	Mn 1	8.4	37
Stellite 6K	1.6	31	1.5	4.5		2	≤3	3	Bal.	Mn 1	8.4	47
Stellite 6LC	1.11	29	≤1	4.5		≤2	≤2		Bal.		8.4	38-44
Stellite 6HC	1.35	28.5	≤1	4.6		≤2	≤2	≤2	Bal.		8.4	43-53
Stellite 6113	1.8	27	4					6	Bal.			45
Stellite 694	1	28		19		1	≤2.5	5	Bal.	Mn 1, V 1		48-54
Stellite 7	0.4	26		5.5		0.9	≤3	3	Bal.	Mn 0.3		32
Stellite 701	2.5	30-33	13			0.5	≤3	3	Bal.	Mn 0.5		54
Stellite 703	2.3	31	13			0.5	≤3	3	Bal.	Mn 0.5		53
Stellite 704	1	30	14				≤2	2.5	Bal.	Mn 0.5		50
Stellite 706	1.2	30	5			0.5	≤3	≤3	Bal.	Mn 1		39-44
Stellite 706K	1.6	31	5.3			0.5	≤2	2	Bal.	Mn 1		
Stellite 712	1.85	30	9			1	≤3	3	Bal.	Mn 0.5		41-51
Stellite 720	2.45	33	18		0.3	0.5	≤3	3	Bal.	Mn 0.85		55
Stellite 790	3.3	26	14			0.5	8	1	Bal.	Mn 0.5		
Stellite 98M2	2	30	0.8	18.5	1	1	5	0.5	Bal.	Mn 1		60
Stellite F	1.75	25.5	≤1	12			≤1.5	22.5	Bal.		8.85	40-45
Stellite SF1	3	19		13	2.3	2.5	≤3	13	Bal.	Mn 0.5		56
Stellite SF12	1	19		9	2.5	2.5	≤3	13	Bal.	Mn 0.5		49
Stellite SF20	1.5	19		15	3	3	≤2	13	Bal.	Mn 0.5		61
Stellite SF6	0.7	19		7.5	1.7	2.5	≤3	13	Bal.	Mn 0.5		
Stellite Star J	2.5	32			1.7		≤3	3	Bal.	Mn 1		
Ultimet	0.06	26	5	2			3	9			8.86	28-45

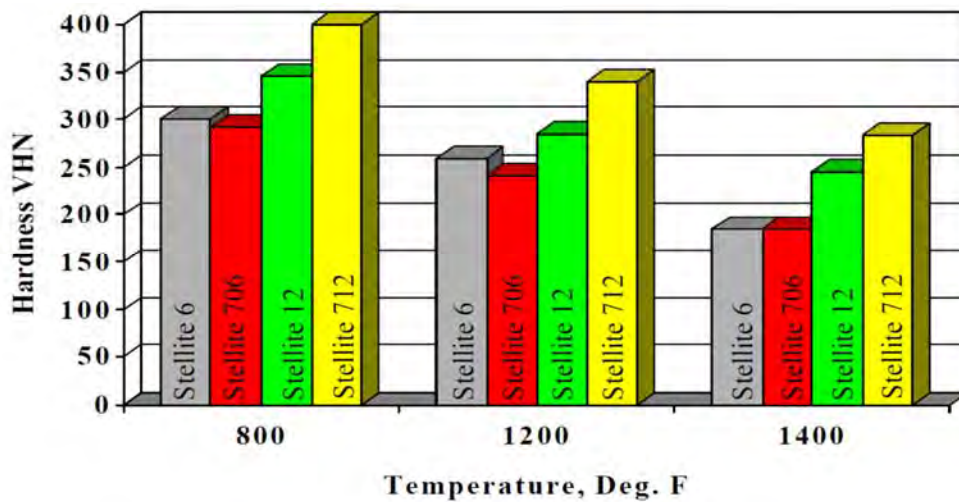
یک ویژگی مهم آلیاژهای استلایت مقاومت به سایش در دمای بالاست. سختی همواره به عنوان یک پارامتر ملموس برای ارزیابی مقاومت به سایش تلقی می‌شود. ولی این معیار همیشه نمی‌تواند ارزیابی صحیحی به ما ارائه دهد. در آلیاژهای استلایت به علت وجود ذرات کاربیدهای تنگستن، مقاومت به سایش بالاتری نسبت به یک فولاد با همان عدد سختی حاصل می‌شود.

شکل ۴ سختی داغ^۸ چند آلیاژ استلایت را در مقایسه با فولاد ابزار گرم کار H13 در دماهای مختلف نشان می‌دهد.



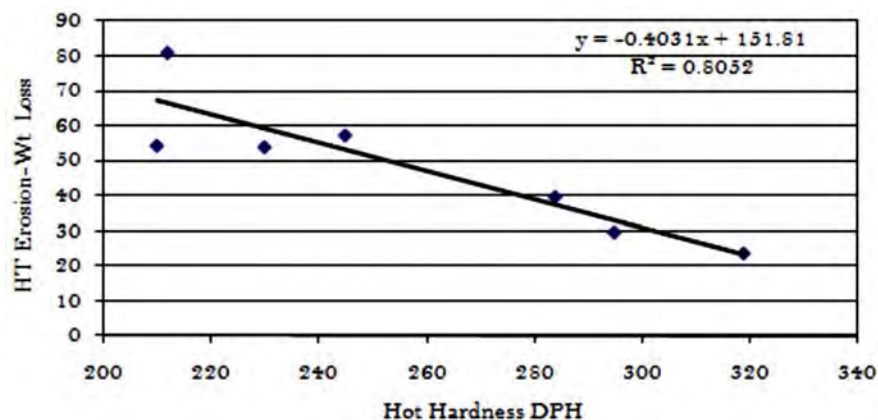
شکل ۴: سختی داغ چند آلیاژ استلایت را در مقایسه با فولاد ابزار گرم کار H13

شکل ۵ نیز سختی داغ آلیاژهای مختلف استلایت را در دماهای مختلف مقایسه می‌کند.



شکل ۵: مقایسه سختی داغ آلیاژهای مختلف استلایت در دماهای مختلف

شکل ۶ اثر سختی داغ بر فرسایش دمای بالا^۹ در استلایت ۱ را نشان می دهد . همان طور که دیده می شود افت سختی از ۳۲۰DPH به ۲۲۰ باعث دو برابر شدن فرسایش داغ شده است.



شکل ۶: اثر سختی داغ بر فرسایش دمای بالا در استلایت

۴- جوشکاری سطحی استلایت روی فولادهای مختلف

برای بررسی نکات فنی با اهمیت در سخت کاری سطحی به روش های جوشکاری توسط آلیاژهای استلایت، موضوع را بر اساس جنس زیرلایه در سه گروه کلی زیر بررسی می کنیم.

- جوشکاری استلایت بر روی فولادهای کربنی
- جوشکاری استلایت بر روی فولادهای آلیاژی، مارتنزیتی و فولادهای ابزار
- جوشکاری استلایت بر روی فولادهای زنگ نزن آستنیتی و داپلکس

۴-۱- جوشکاری استلایت بر روی فولادهای کربنی

فولادهای ساده کربنی که به فولادهای غیر آلیاژی نیز شناخته می شوند در سیستم کد گذاری بین المللی UNS با حرف G آغاز می شوند. این فولادها در سیستم AISI و SAE بصورت 10XX، 11XX، 12XX و 15XX شناسایی می شوند.

در بازار ایران معروف ترین گریدهای این فولادها را می توان st13، st14، st22، st44 و st52 در فولادهای ساختمانی و ck22، ck35، ck45 و ck60 در فولادهای صنعتی نام برد.

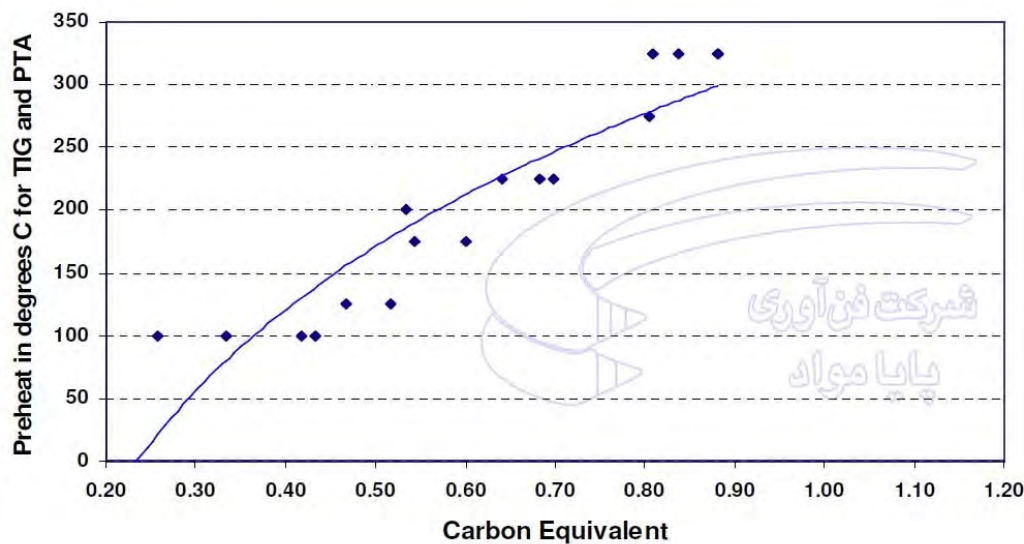
به صورت کلی جوش پذیری یک فولاد با سختی پذیری آن نسبت مستقیم دارد و هر چه سختی پذیری افزایش یابد، جوش پذیری پایین می آید. این موضوع بخاطر شکل گیری یک لایه ترد در منطقه متأثر از حرارت زیر جوش (HAZ) در داخل فلز پایه می باشد.

وقتی سختی پذیری یک فولاد بالا باشد در اثر سریع سرد شدن منطقه زیر جوش، فازهای ترد مارتنزیتی تشکیل می شود که مقاومت به ضربه پایینی دارد. این مسأله وقتی کربن بالاتر از ۰/۵ درصد باشد، اهمیت فراوانی می یابد.

برای کاهش سرعت سرد شدن، بهترین روش پیش گرم کردن قطعه کار می باشد. برای تعیین میزان پیش گرم مورد نیاز و ارزیابی جوش پذیری یک فولاد از معیاری با عنوان کربن معادل (CE) استفاده می شود. این معیار مستقیماً ترکیب شیمیایی یک فولاد را به جوش پذیری آن ارتباط داده و از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$CE = \% C + \frac{\% MN}{5} + \frac{\% Ni + \% Cu}{15} + \frac{\% Cr + \% Mo + \% V}{5}$$

پیش گرم مورد نیاز برای هر کربن معادل توسط نمودار شکل ۷ قابل محاسبه است.



شکل ۷: پیش گرم مورد نیاز برای هر کربن معادل

به عنوان مثال می‌توان مشاهده کرد برای فولادهایی مثل st37 یا st12 که کربن معادلی در حد ۰/۲ دارند، هیچ پیش‌گرمی نیاز نیست. اما برای فولادهایی مثل ck45 که کربن معادل آن حدود ۰/۵ می‌باشد به حدود ۱۷۰°C پیش‌گرم نیاز است.

برای استفاده از این نمودار به دو نکته باید توجه کرد؛ یکی اینکه این پیش‌گرم با هدف جلوگیری از سریع سرد شدن منطقه کنار جوش می‌باشد و بنابراین اندازه قطعه نیز اثرگذار است. و دیگر اینکه پیش‌گرم همواره می‌تواند مفید باشد زیرا اثر رطوبت یا چربی موجود بر روی قطعه و همچنین تنش‌های انقباضی را کاهش می‌دهد.

هرچه که کربن معادل از ۰/۵ بیشتر باشد، تشکیل مارتنزیت اجتناب‌ناپذیر است.

در این شرایط عملیات حرارتی پس از جوشکاری^{۱۱} PWHT ضروری می‌شود.

انتخاب دمای این عملیات حرارتی با توجه به گرید فولاد انتخاب می‌شود و معمولاً ۵۰°C پایینتر از دمای تمپر همیشگی آن فولاد است. معمولاً قطعات جوشکاری شده بلافاصله پس از جوشکاری بمدت یک تا دو ساعت در کوره قرار می‌گیرند.

۲-۴- فولادهای آلیاژی

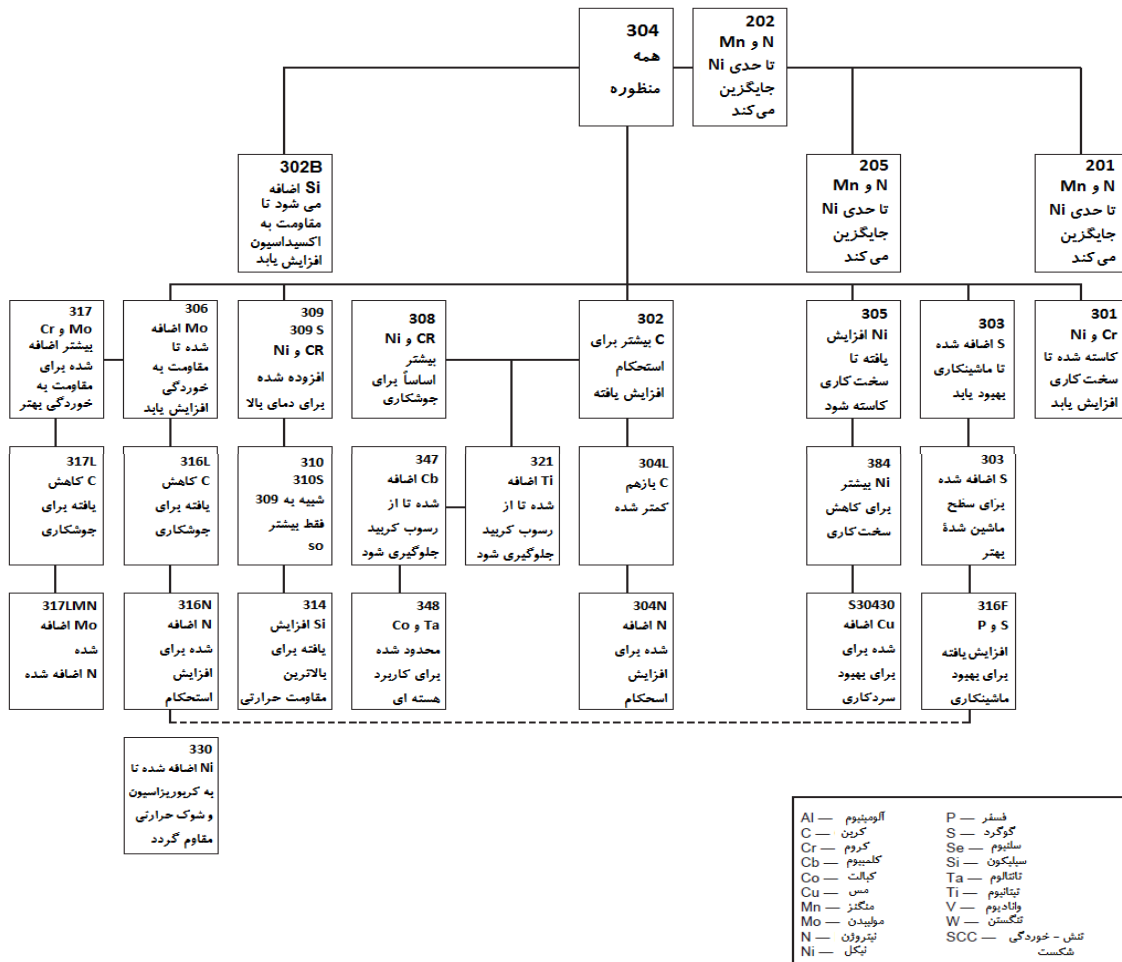
کربن معادل این فولادها اغلب بالای ۱/۱ است و جوشکاری سطحی روی آنها یک چالش محسوب می‌شود. برای اینگونه فولادها عملیات پیش‌گرم و پس‌گرم الزامی بوده و کار با توجه به دماهای شروع و پایان استحاله مارتنزیتی (M_s و M_f) و دیاگرام TTT انجام می‌شود.

به ندرت شرایطی پیش می‌آید که انجام عملیات سخت‌کاری سطحی به وسیله جوشکاری آلیاژهای استلایت روی فولادهای ابزار یا فولادهای مارتنزیتی پرآلیاژ انجام گیرد.

۳-۴- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و داپلکس

جوشکاری استلایت بر روی سطح فولادهای زنگ‌نزن بسیار متداول است. انجام اینکار کاملاً متفاوت از فولادهای کربنی، کم‌آلیاژ و ابزار است. در اینجا کربن معادل اهمیت چندانی ندارد ولی مهم این است که بدانیم چه گروه و گریدی را سخت‌کاری می‌کنیم.

شکل ۸ مهمترین گریدهای فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی را نشان می‌دهد. در فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی، نظیر 304 و 316، شکل‌گیری فاز ترد در منطقه متأثر از حرارت زیر جوش رخ نمی‌دهد. زیرا وجود مقادیر بالای نیکل مانع از تبدیل شبکه FCC آستنیت به شبکه BCC مارتنزیت می‌شود.

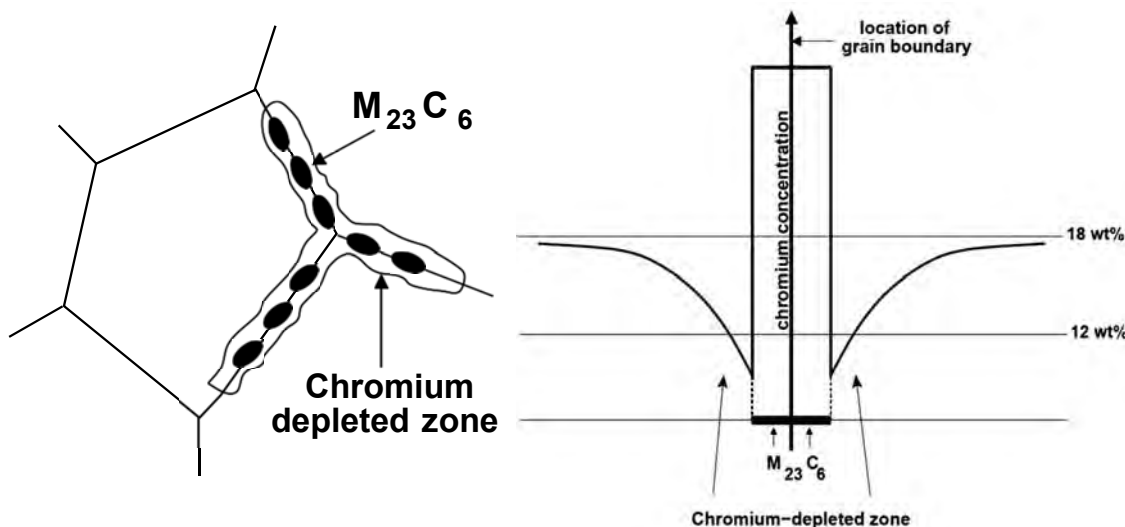


شکل ۸: نمودار درختی گریدهای مختلف فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی

برای جوشکاری سطحی استلایت روی این گروه، دمای پیش‌گرم 50°C تا 150°C کافی است و پس از جوشکاری قطعه باید به آرامی سرد شود.

مشکل اصلی در جوشکاری سطحی فولادهای زنگ‌نزن، ورود کربن از آلیاژ استلایت به منطقه متأثر از حرارت است. با توجه به مقادیر بالای کربن در اکثر آلیاژهای استلایت، این پدیده به سادگی روی می‌دهد. کربن وارد شده به منطقه کنار جوش در فولاد زنگ‌نزن، باعث ایجاد پدیده حساس شدن^{۱۲} می‌شود.

این فرآیند که از آن به خوردگی کنار جوش^{۱۳} نیز یاد می‌شود در اثر تشکیل کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد زنگ‌نزن ایجاد می‌شود. شکل ۹ این پدیده را از نقطه نظر میکروسکوپی نشان می‌دهد. تشکیل کاربید کروم در مرز دانه‌ها باعث می‌شود تا لایه محافظ اکسید کروم پیوسته روی سطح فولاد زنگ‌نزن در منطقه متأثر از حرارت شکل نگرفته و مقاومت به خوردگی این ناحیه به شدت کاهش یابد.



شکل ۹: حساس شدن فولاد زنگ نزن در اثر تشکیل کاربید کروم در مرز دانه ها

ساختار میکروسکوپی فولادهای زنگ‌نزن داپلکس شامل دانه‌های فریت و آستنیت تقریباً با نسبت برابر می‌باشد. این گروه فولادهای زنگ‌نزن معمولاً مقاومت به خوردگی تنشی بهتر و استحکام و سختی بالاتری نسبت به فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی دارند. داپلکس‌ها کاربردهای وسیعی در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی دارند. مقاومت در محیط‌های کلریدی، استحکام کششی بالا و مقاومت به کاویتاسیون دلیل این امر است. جدول ۲ ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن داپلکس را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن داپلکس

International steel No			Chemical composition, % by wt. Typical values					
EN	UNS	ISO	C	N	Cr	Ni	Mo	Others
1.4162	S32101	4162-321-01-E	0.03	0.22	21.5	1.5	0.3	5Mn Cu
1.4362	S32304	4362-323-04-I	0.02	0.10	23.0	4.8	0.3	Cu
1.4662	S82441	4662-824-41-X	0.02	0.27	24.0	3.6	1.6	3Mn Cu
1.4462	S32205	4462-318-03-I	0.02	0.17	22.0	5.7	3.1	
1.4501	S32760	4501-327-60-I	0.02	0.27	25.4	6.9	3.8	W Cu
1.4410	S32750	4410-327-50-E	0.02	0.27	25.0	7.0	4.0	

در اثر سخت کاری سطحی توسط جوشکاری، داپلکسها هم مانند فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی حساس شده و دچار خوردگی منطقه کنار جوش می‌شوند. علاوه بر این در این فولادها امکان تشکیل فازهای ترد ثانویه در زیر لایه جوشکاری شده وجود دارد. این فازهای ثانویه ترکیبات بین فلزی، کاربیدها و نیتريدیهای هستند که در اثر قرار گرفتن در دمای بالا تشکیل می‌شوند و مقاومت به خوردگی و یا چقرمگی را کاهش می‌دهند. از نقطه نظر سخت کاری سطحی، بزرگترین مشکل کار با این فولادها تشکیل فازهای تردی نظیر سیگما (δ)، چی (χ) و آلفا پرایم (α') در مدت زمان کوتاه سیکل حرارتی حاصل از جوشکاری است.

این فازها در محدوده دمایی 300°C تا 1000°C تشکیل می‌شوند. طبیعی است که در حین جوشکاری منطقه وسیعی در زیر جوش در این ناحیه حرارتی ترد شدن قرار می‌گیرند. به همین دلیل بهتر است فولادهای داپلکس پیش گرم نشوند.

بسته به هندسه و ابعاد قطعه و همچنین گرید استلایت مورد استفاده باید سریع‌ترین نرخ سرد شدن ممکن برای دماهای بین پاسی و آخرکار در نظر گرفته شود تا منطقه متاثر از حرارت در زمان کمتری در محدوده دمایی ترد شدن قرار گیرد. دمای بین پاسی بهینه برای این فولادها در محدوده 150°C تا 200°C است.

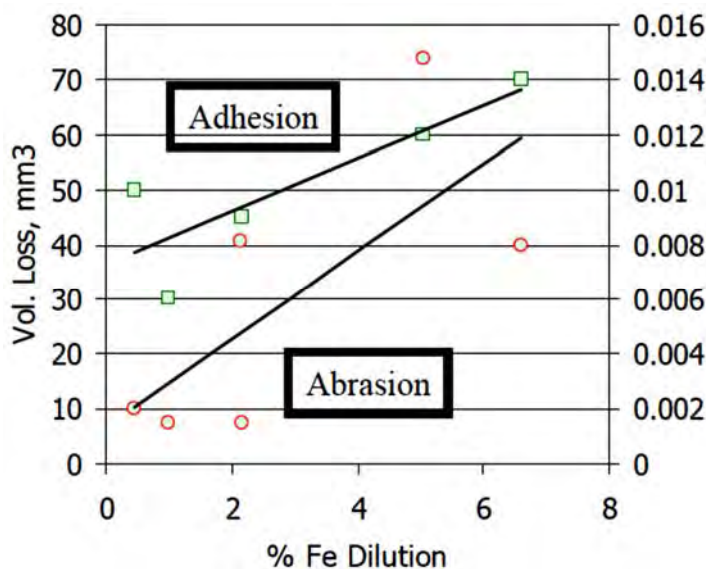
البته راهکار بهتر استفاده از یک لایه بافری زیر لایه استلایت می‌باشد. استفاده از سوپر آلیاژ پایه نیکل Inconel 625 به عنوان اولین لایه جوشکاری شده بدون انجام هیچ پیش گرمی می‌تواند ریسک پدیده‌های فوق‌الذکر را تا حد زیادی کاهش دهد.

۵- رقیق شدن لایه جوش داده شده^{۱۴}

یکی از پدیده‌هایی که در حین سخت کاری سطحی آلیاژهای استلایت بر روی قطعات صنعتی به وفور دیده می‌شود، پدیده رقیق شدن است. رقیق شدن معمولاً خود را به شکل افت سختی حاصل از سخت کاری نسبت به سختی مورد انتظار نشان می‌دهد. ماجرا از آنجا آغاز می‌شود که در حین جوشکاری سطحی، مقداری از فلز زیر لایه یا همان قطعه در لایه استلایت حل می‌شود و در نتیجه مقدار آهن موجود در لایه را نسبت به ترکیب استاندارد استلایت افزایش می‌دهد. این وضعیت اثرات زیر را به همراه دارد:

کاهش مقاومت به خوردگی آلیاژ استلایت در محیط‌های با خوردگی بالا در اثر کاهش درصد کروم لایه سطحی. هرچند در این شرایط ممکن است مقاومت به خوردگی استلایت از بسیاری فولادهای زنگ نزن بالاتر باشد.

- افت سختی حاصل از جوشکاری استلایت
- کاهش مقاومت به سایش در اثر افزایش انرژی نقص در چیده شدن اتم‌ها برای زمینه کبالتی که اثر بالایی به خصوص بر مقاومت به گالینگ دارد.
- کاهش کربن محتوای لایه استلایت که کاهش سختی و مقاومت به انواع سایش را به همراه دارد.
- رقیق شدن با آهن و یا نیکل باعث کاهش حجم فازهای تردی نظیر کاربیدها شده و مقاومت به ضربه لایه را افزایش می‌دهد.



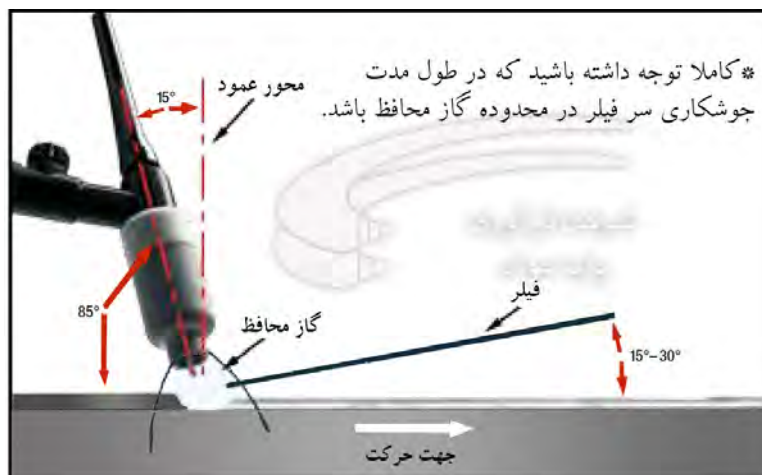
شکل ۱۰: افت مقاومت به سایش چسبان و خراشان در اثر رقیق شدن در لایه استلایت ۱ جوش داده شده

همان طور که در شکل ۱۰ دیده می شود ۶ در صد رقیق شدن توانسته است مقاومت به سایش خراشان استلایت ۱ را تا ۶ برابر و سایش چسبان را تا حدود دو برابر کاهش دهد.

رقیق شدن پدیده‌ای غیر قابل اجتناب است. اما سوال اینجاست که تا چه حد مجاز می‌باشد. پاسخ این سوال با دانستن شرایط کاری نظیر خوردگی محیط، مقاومت به سایش مورد نیاز، سختی قطعات درگیر با قطعه، ضخامت لایه مورد نیاز، مقدار ماشین کاری پس از جوشکاری و ... داده شود.

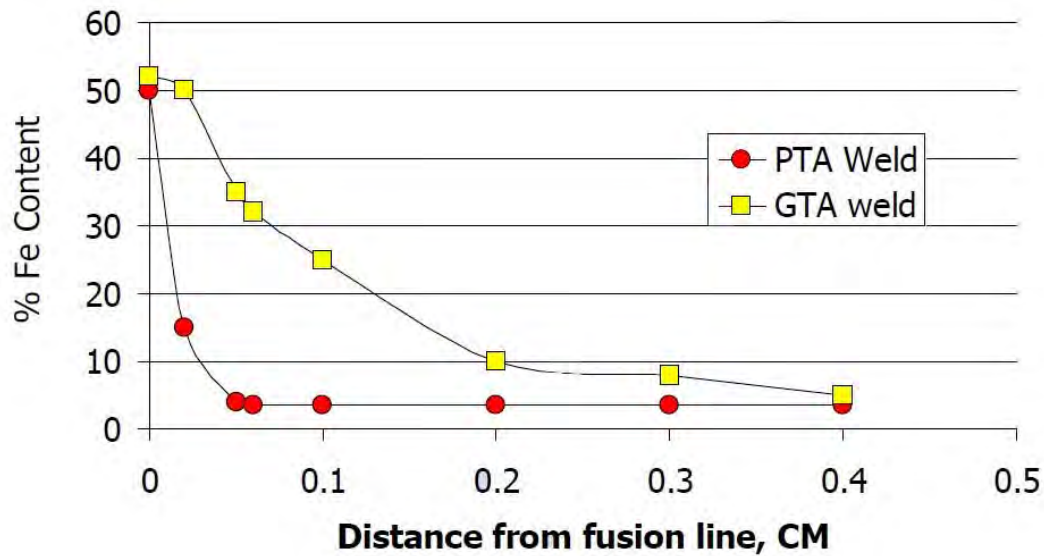
هرچه تعداد پاس‌های جوش داده شده افزایش یابد، اثر رقیق شدن به ویژه در لایه‌های رویین کمتر می‌شود. بهتر است فرایند کار به نوعی طراحی شود که پس از ماشین کاری حداقل ۲ میلی‌متر از لایه استلایت روی سطح باقی مانده باشد.

پارامترهای جوشکاری، هندسه جوش، مهارت جوشکار، ضخامت لایه اولیه جوشکاری شده و جنس زیر لایه بر رقیق شدن تاثیر گذار است. شکل ۱۱ موقعیت صحیح تورچ و فیلر را در جوش آرگون نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: موقعیت صحیح تورچ و فیلر را در جوش آرگون

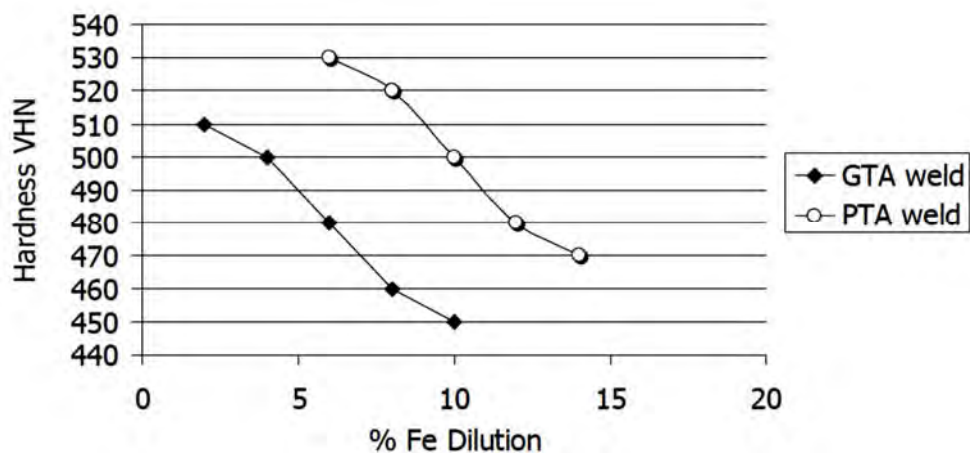
مقدم بر پارامترهای فرایند، نوع خود فرایند بر میزان رقیق شدن تاثیر به سزایی دارد. شکل ۱۲ رقیق شدن استلایت ۱۲ را در دو روش PTA و TIG مقایسه کرده است. همان‌طور که دیده می‌شود رقیق شدن استلایت از مقدار ۵۰ درصد آهن در خط ذوب به سرعت به حدود ۵ درصد در فاصله حدود ۴ میلیمتری از خط ذوب فلز پایه می‌رسد. روش PTA رقیق شدن کمتری را نسبت به روش TIG نشان می‌دهد. دقت شود که این دو روش در شرایط تنظیم بهینه پارامترها با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۲: رقیق شدن استلایت ۱۲ را در دو روش PTA و TIG

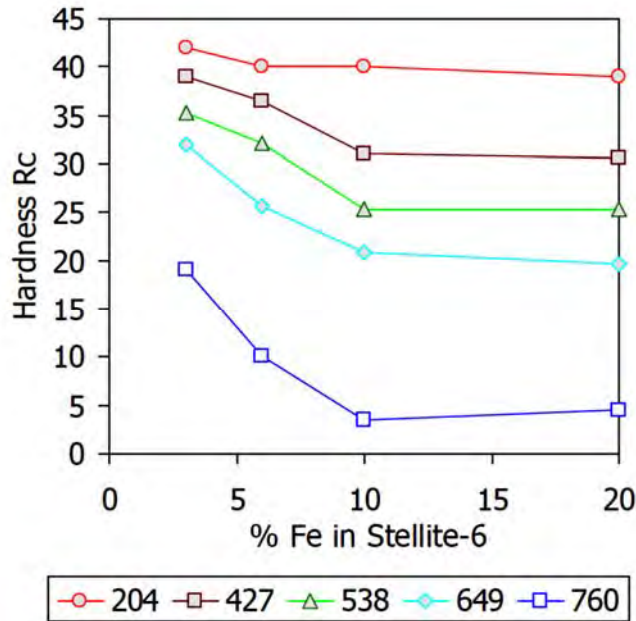
همان طور که مشاهده می شود در روش PTA در فاصله یک میلی متر از خط ذوب، رقیق شدن به کمتر از ۱۰ درصد می رسد.

اثر میزان رقیق شدن بر سختی حاصل از لایه استلایت ۱۲ در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



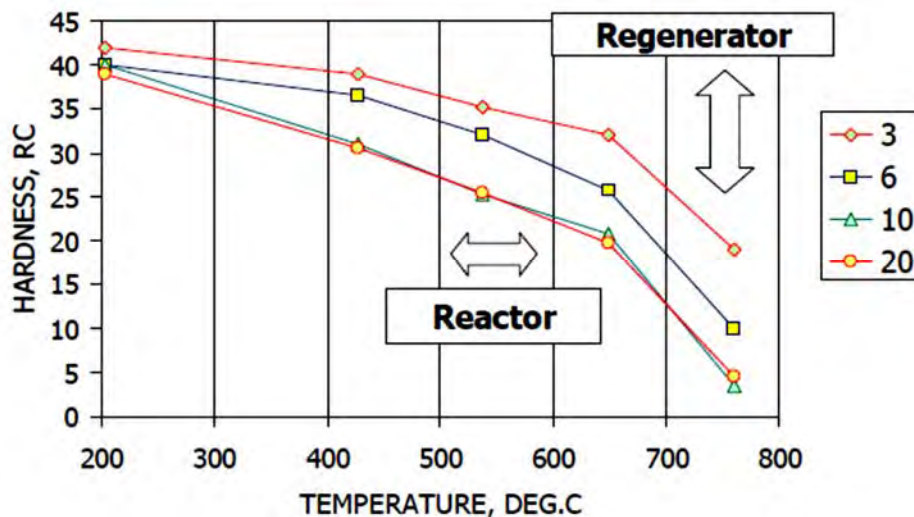
شکل ۱۳: اثر میزان رقیق شدن بر سختی حاصل از لایه استلایت ۱۲

شکل ۱۴ اثر رقیق شدن توسط آهن در دماهای مختلف بر سختی آلیاژ معروف استلایت ۶ را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود رقیق شدن بیش از ۱۰ درصد در دماهای مختلف اثر زیادی نداشته و نمودار بین ۱۰ تا ۲۰ درصد در دماهای مختلف به شکل صاف است.



شکل ۱۴: اثر رقیق شدن توسط آهن در دماهای مختلف بر سختی آلیاژ معروف استلایت ۶

شکل ۱۵ اثر دما و رقیق شدن توسط آهن بر سختی استلایت ۶ را مشخص می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش دما تاثیر رقیق شدن بر افت سختی لایه استلایت بیشتر می‌شود.



شکل ۱۵: اثر دما و رقیق شدن توسط آهن بر سختی استلایت ۶