جوشکاری فولادهای ابزار

سیروس یحیی پور
IEW

جوشکاری فولادهای ابزار

فولادهای ابزار بدلیل شرایط سخت و متنوع بهره‌برداری نیازمند کیفیت و خواص بالای مهندسی هستند. ترکیب‌شیمیائی و عملیات‌حرارتی این فولادها بسیار دقیق میباشد و در مقایسه با فولادهای ساختمانی دارای کربن بیشتری هستند (حداقل ۰/۶% کربن) و با عناصری نظیر کرم، مولیبدن، نیکل، وانادیم و غیره آلیاژ میشوند.

جوشکاری این فولادها بنحوی که خواص مطلوب آنها دچار تغییرات مضر نشود، بسیار مشکل میباشد و معمولا" نیاز به عملیات‌حرارتی قبل و پس از جوشکاری دارد. ترکیب‌شیمیائی و خواص مکانیکی الکترودهای انتخاب شده در نتایج کار بسیار مهم بوده و انتخاب الکترود باید با دقت صورت گیرد.

طبقه بندی فولادهای ابزار

فولادهای ابزار را میتوان به روشهای مختلفی براساس ترکیب‌شیمیائی، خواص مکانیکی، شرایط بهره‌برداری، نحوه ساخت و عملیات‌حرارتی و غیره تقسیم بندی کرد، انستیتو آهن و فولاد آمریکا AISI و انجمن مهندسین اتومبیل SAE این کشور فولادهای ابزار را بر-اساس ترکیب‌شیمیائی و نوع ماده سردکننده HRDNING MEDIUM به هفت‌گروه اصلی تقسیم-کرده‌اند که درجداول شماره [۱] تقسیم بندی کلی و در جدول شماره [۲] ترکیب‌شیمیائی این فولادها آورده شده‌است. علاقمندان جهت اطلاع بیشتر میتوانند به METALS HANDBOOK از انتشارات انجمن فلزات آمریکا ASM یا WELDING HANDBOOK (VOLUME 4) از انتشارات انجمن جوشکاری آمریکا AWS مراجعه کنند.

جدول شماره [۱]

طبقه بندی فولادهای ابزار		
نوع	حروف‌شناسائی	طبقه
کربن ساده	W	سخت‌شونده در آب
کربن متوسط - کم آلیاژ	S	مقاوم در مقابل ضربه
سخت‌شونده درروغن	O	سردکار
فولادبا آلیاژمتوسط - سخت‌شونده درهوا	A	
کربن بالا- کرم بالا	D	
فولاد کرم دار	H1-H19	گرم‌کار
فولاد تنگستنی	H20-H29	
فولاد مولیبدن دار	H40-H59	
تنگستن	T	فولاد تند بر
مولیبدن	M	
کم کربن	P	فولاد قالب
کم آلیاژ	L	فولادهای ویژه

جدول شماره [۲]

ترکیب شیمیائی فولادهای ابزار

نوع	ترکیب اسمی %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co
سخت شونده در آب									
W1	0.60/1.40a	...	...	...	...	0.25			
W2	0.60/1.40a								
W5	1.10	...	...	0.25					
مقاوم به ضربه									
S1	0.50	...	...	1.50	...	...	0.25		
S2	0.50	...	1.00	...	...	...	...	0.50	
S5	0.55	0.80	2.00	...	...	...	...	0.40	
S7	0.50	...	...	3.25	...	...	...	1.40	
سردکار									
سخت شونده در روغن									
O1	0.90	1.00	...	0.50	...	...	0.50	...	
O2	0.90	1.60	...	...	...	...	...	...	
O6b	1.45	...	1.00	...	...	...	...	0.25	
O7	1.20	...	...	0.75	...	...	1.75	...	
فولاد آلیاژ متوسط سخت شونده در هوا									
A2	1.00	...	...	5.00	...	...	...	1.00	
A3	1.25	...	...	5.00	...	1.00	...	1.00	
A4	1.00	2.00	...	1.00	...	...	...	1.00	
A6	0.70	2.00	...	1.00	...	...	...	1.25	
A7	2.25	...	...	5.25	...	4.75	1.00	1.00	
A8	0.55	...	...	5.00	...	...	1.25	1.25	
A9	0.50	...	...	5.00	1.50	1.00	...	1.40	
A10b	1.35	1.80	1.25	...	1.80	...	...	1.50	
کربن بالا - کرم بالا									
D2	1.50	...	...	12.00	...	1.00	...	1.00	
D3	2.25	...	...	12.00	...	...	...	...	
D4	2.25	...	...	12.00	...	...	...	1.00	
D5	1.50	...	...	12.00	...	...	...	1.00	3.00
D7	2.35	...	...	12.00	...	4.00	...	1.00	
کرم									
H10	0.40	...	...	1.25	...	0.40	...	2.50	
H11	0.35	...	...	5.00	...	0.40	...	1.50	
H12	0.35	...	...	5.00	...	0.40	1.50	1.50	
H13	0.35	...	...	5.00	...	1.00	...	1.50	
H14	0.40	...	...	5.00	...	...	5.00		
H19	0.40	...	...	4.25	...	2.00	4.25	...	4.25

ترکیب شیمیائی فولادهای ابزار

نوع	ترکیب اسمی %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co
تنگستن								
H21	0.35	...	...	3.50	...	...	9.00		
H22	0.35	...	...	2.00	...	...	11.00		
H23	0.30	...	...	12.00	...	1.00	12.00		
H24	0.45	...	...	3.00	...	...	15.00		
H25	0.25	...	...	4.00	...	...	15.00		
H26	0.50	...	...	4.00	...	1.00	18.00		
مولیبدن									
H42	0.60	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00	
تنگستن				**فولاد تند بر**					
T1	0.75a	...	...	4.00	...	1.00	18.00		
T2	0.80	...	...	4.00	...	2.00	18.00		
T4	0.75	...	...	4.00	...	1.00	18.00	...	5.00
T5	0.80	...	...	4.00	...	2.00	18.00	...	8.00
T6	0.80	...	...	4.50	...	1.50	20.00	...	12.00
T8	0.75	...	...	4.00	...	2.00	14.00	...	5.00
T15	1.50	...	...	4.00	...	5.00	12.00	...	5.00
مولیبدن									
M1	0.85a	...	...	4.00	...	1.00	1.50	8.00	
M2	0.85/1.00a	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00	
M3	1.05/1.20	...	...	4.00	...	2.40/3.00	6.00	5.00	
M4	1.30	...	...	4.00	...	4.00	5.50	4.50	
M6	0.80	...	...	4.00	...	1.50	4.00	5.00	12.00
M7	1.00	...	...	4.00	...	2.00	1.75	8.75	
M10	0.85/1.00a	...	...	4.00	...	2.00	...	8.00	
M30	0.80	...	...	4.00	...	1.25	2.00	8.00	5.00
M34	0.90	...	...	4.00	...	2.00	2.00	8.00	8.00
M36	0.80	...	...	4.00	...	2.00	6.00	5.00	8.00
M41	1.10	...	...	4.25	...	2.00	6.75	3.75	5.00
M42	1.10	...	...	3.75	...	1.15	1.50	9.50	8.00
M43	1.20	...	...	3.75	...	1.60	2.75	8.00	8.25
M44	1.50	...	...	4.25	...	2.25	5.25	6.25	12.00
M46	1.25	...	...	4.00	...	3.20	2.00	8.25	8.25
M47	1.10	...	...	3.75	...	1.25	1.50	9.50	5.00
مولیبدن				**فولاد کم آلیاژ ویژه**					
1.2	0.50/1.10a	...	...	1.00	...	0.20			
1.6	0.70	...	...	0.75	1.50	...	...	0.25	
				فولادهای قالب					
P2	7.07	...	...	2.00	0.50	...	...	0.20	
P3	0.10	...	...	0.60	1.25			0.75	
P4	0.07	...	...	5.00	...	...	...		
P5	0.10	...	...	2.25	3.50				
P6	0.10	...	...	1.50	...	...	...	0.40	
P20	0.35	...	...	1.70	4.00	...	...		1.30
P21	0.20	...	...	...					

a) با درصدهای مختلف کربن موجود است b) همراه با گرافیت آزاد جهت بهبود خواص ماشین کاری

گروه سخت‌شونده در آب WATER-HARDENING GROUP

این فولادها معمولا" از نوع فولاد کربنی ساده هستند، اما گاهی اوقات از فولادهای پرکربن که مقدار کمی کرم و وانادیم جهت‌بهبود چقرمگی TOUGHNESS و مقاومت‌به سایش به آنها افزوده میشود هم استفاده میگردد. میزان کربن فولادهای این گروه بین ۰/۶% تا ۱/۴% متغیر میباشد. بطور کلی ابزارهای تولید شده از فولاد کربنی ساده قیمت بالنسبه کمتری از ابزارهای آلیاژی دارند. این فولادها با عملیات‌حرارتی مناسب‌ضمن دارا بودن سطح سخت، معز نرم و ضربه پذیری خواهند داشت. برای حصول به سختی بالا، سردکردن QUENCH در آب‌ضروری است‌و همین امراحتمال پیچیدگی قطعه را افزایش‌میدهد. ابزارهای فولاد کربنی بهترین قابلیت ماشینکاری را داشته و در مقابل کربورزدائی DECARBURIZATION ناشی از عملیات حرارتی مقاومت‌خوبی دارند، اما قابلیت‌حفظ سختی آنها در دماهای بالا ضعیف‌میباشد.

گروه مقاوم در برابر شوک SHOCK-RESISTING GROUP

کاربرد اصلی ابزارهای این گروه در شرایطی است که ابزار تحت ضربات و شوکهای متناوب باشد. این ابزارها معمولا" کم کربن بوده و میزان کربن آنها در حدود ۰/۴ تا ۰/۶۵ درصد است. عناصر اصلی آلیاژی عبارتند از سیلیسیم، کرم، تنگستن و گاهی اوقات مولیبدن. سیلیسیم استحکام فریت‌را افزایش‌داده و کرم قابلیت سختی پذیری و کمی هم مقاومت به سایش‌را بالا میبرد. مولیبدن قابلیت سختی پذیری را بهبود می‌بخشد و تنگستن سختی فولاد را تا دمای سرخ شدن حفظ میکند. معمولا" این فولادها در روغن سخت‌میشوند، اما در مواردی که لازم باشد ابزار تا عمق سخت شود از آب‌بعنوان ماده سرد کننده استفاده میشود.

سیلیسیم زیاد فرآیند کربورزدائی DECARBURIZATION در حین عملیات حرارتی را تسریع میکند بهمین جهت برای به حداقل رساندن کاهش کربن لایه‌های سطحی در حین عملیات حرارتی توجه ویژه‌ای لازم می‌باشد.

این فولادها سختی نسبتا" خوبی در دمای سرخ شدن داشته، مقاوم به سایش‌هستند و قابلیت ماشینکاری خوبی دارند. حداکثر سختی آنها از ۶۰ راکول HRC تجاوز نمی‌کند و برای مواردی که مقاومت به ضربه و مقاومت به سایش توامما" مطرح باشد نظیر

ابزارهای شکل دهی ، سنبه‌ها ، قلم ها ، ابزار نیوماتیک ، تیغه‌های برش فلزات و غیره مناسب‌هستند .

گروه سردکار COLD-WORK GROUP

این گروه از محکمترین انواع فولاد ابزار هستند و بنحو وسیعی مورد استفاده واقع میشوند . فولادهای سردکار به دو نوع اصلی تقسیم میشوند ، فولادهای سردکار سخت شونده در روغن و سخت شونده در هوا . نوع سخت شونده در روغن معمولا" حاوی منگنز و مقدار کمی کرم و شکستن بعنوان عناصر آلیاژی بسوده و مقاومت به ضربه خوبی دارند اما قابلیت حفظ سختی آنها در دمای سرخ شدن همانند فولادهای کربنی ساده ضعیف میباشد . موارد کاربرد آنها شامل قلاویزها ، قالب‌های ثابت پیچ زنی ، ابزارهای فرم دهی و برقوها است .

فولادهای آلیاژ متوسط MEDIUM ALLOY سخت شونده در هوا حاوی حدود ۱% کربن ، تا ۳% منگنز ، ۵% کرم و ۱% مولیبدن میباشند .

وجود عناصر آلیاژی فوق بخصوص منگنز و مولیبدن به این فولادها قابلیت سخت شوندگی در هوا را داده است . این آلیاژها مقاومت خوبی در مقابل سایش ، ضربه و سوختن کربن در حین عملیات حرارتی دارند . قابلیت حفظ سختی آنها در دمای سرخ شدن نسبتا" خوب بوده و کمترین احتمال پیچیدگی و تغییر ابعاد را در حین عملیات حرارتی دارند .

موارد استفاده آنها عبارت است از قالبهای برشکاری دقیق ، قالبهای دوار پیچ زنی و غیره .

فولادهای پر آلیاژ سخت شونده در هوا نظیر فولادهای پرکربن - پرکرم باحدود ۲% کربن و ۱۲% کرم میباشد ، که مقادیر کمی مولیبدن ، وانادیم و کبالت به آنها افزوده میشود . داشتن کرم و کربن بالا مقاومت به سایش خوبی دارند و ثبات ابعاد آنها در عملیات حرارتی عالی میباشد ، در نتیجه درمواردی که نیاز به دقت باشد نظیر قالبهای برشکاری دقیق ، قالب‌های کشش سیم ، میله و لوله‌ها در صورتیکه دمای کار از ۴۸۰ درجه سانتیگراد تجاوز نکند ، بکار میروند .

این ابزارها برای استفاده در تیغه‌های برشکاری مناسب نیستند زیرا در لبه‌های نازک ترد و شکننده میشوند .

گروه گرمکار HOT-WORK GROUP

در بعضی موارد ابزارها تحت دماهای زیاد نظیر شکل دادن گرم ، اکستروژن ، تزریق پلاستیک ، ریخته‌گری در قالب‌فلزی و غیره کار میکنند. این ابزارها قبل از هر چیز می‌بایستی در برابر نرم شدن در دماهای بالا مقاوم باشند. عناصر اصلی ایجاد قابلیت حفظ سختی در دماهای بالا عبارتند از کرم ، تنگستن و مولیبدن که در مقادیر بیش از ۵% چنین قابلیتی را فراهم میکنند. آلیاژهای گرمکار خود به سه دسته تقسیم میشوند.

۱- آلیاژهای با پایه کرم CHROMIUM TYPE

این فولادها حاوی حداقل ۳/۲۵ درصد کرم و مقادیر کمتری تنگستن ، مولیبدن و وانادیم هستند. کرم در ترکیب‌با سه عنصر فوق که همگی کاربایدزا هستند (این آلیاژها کم کربن میباشند) امکان ایجاد سختی در حدود ۴۰ تا ۵۵ راکول HRC را همراه با چقرمگی متوسط فراهم میسازد. افزایش‌تنگستن و مولیبدن سختی سرخ RED HARDNESS را بهبود می بخشد اما موجب کاهش‌چقرمگی TOUGHNESS و ضربه‌پذیری میشود. قابلیت‌سختی پذیری آلیاژهای با پایه کرم زیاد بوده و در اثر سرد شدن در هوا حتی در ضخامت حدود ۳۰ سانتی متر تا مغز سخت‌میشوند. سختی پذیری زیاد موجب شده که این آلیاژها حداقل تغییر ابعاد را در حین سرد کردن دارا باشند درنتیجه جهت‌ساختن انواع قالبها بخصوص‌قالب‌های گرمکار نظیر قالب‌اکستروژن ، قالب‌های دایکاست، قالب‌های فورجینگ، سنبه‌هاو ابزارهای برشکاری فلزات‌گرم بسیار مناسب‌می‌باشند.

۲- آلیاژهای با پایه تنگستن TUNGSTEN TYPE

آلیاژهای پایه تنگستن با ۹ الی ۱۸ درصد تنگستن و ۳ تا ۱۲ درصد کرم درمقایسه با آلیاژهای با پایه کرم در اثر مقادیر زیاد عناصر فوق در برابر نرم شدن در دماهای زیاد بسیار مقاوم ترند. اما در سختی های حدود ۴۵ تا ۵۵ راکول HRC حساس‌به ترد شدن هستند. این فولادها سخت‌شونده در هوا بوده و از ثبات ابعادی خوبی برخوردارند. جهت‌ممانعت‌از پوسته‌شدن دردماهای بالای درحین عملیات‌حرارتی میتوان آنها را در روغن یا نمکهای مذاب‌هم سردکرد QUENCHING . آلیاژهای پایه تنگستن از بسیاری لحاظ شبیه فولادهای تندبر می باشند اما چقرمگی و ضربه پذیری

بهتری دارندو برای کار در دماهای بالا نظیر سنبه‌ها و قالب‌های اکستروژن فولاد، آلیاژهای نیکل و دیگر فلزات‌مناسب‌هستند.

۳- آلیاژهای با پایه مولیبدن MOLYBDENUM TYPE

فولاد H24 از لحاظ کاربرد و مشخصات شبیه فولادهای با پایه تنگستن میباشد و به فولادهای تندبر مولیبدنی نیز نزدیک است. اما خاصیت ضربه‌خوری و چقرمگی TOUGHNESS بهتری دارد. مزیت‌اصلی آلیاژهای با پایه مولیبدن نسبت‌به آلیاژهای با پایه تنگستن در ارزانی قیمت‌و عدم حساسیت‌به ترک‌برداشتن گرم است. بعلت بالابودن میزان مولیبدن نسبت به کربورزدائی در حین عملیات‌حرارتی حساس‌هستند که باید به آن توجه داشت.

گروه فولادهای تندبر HIGH-SPEED GROUP

این گروه از نوع فولادهای پر آلیاژ بوده و معمولا" حاوی مقادیر نسبتا" زیادی تنگستن یا مولیبدن همراه با کرم، انادیم و گاهی اوقات کبالت هستند. میزان کربن آنها در حالت‌عادی در حدود ۰/۷۵ تا ۱/۳ درصد میباشد، اما بعضی از انواع کربنی در حدود ۱/۵ درصد و بیشتر دارند.

کاربرد اصلی فولادهای تندبر در تیغه‌ها و ابزارهای برش‌میباشد. اما درساخت قالب‌های اکستروژن، سنبه‌ها و قالب‌های برشکاری BLANKING DIES نیز استفاده میشوند.

ترکیب شیمیائی فولادهای تندبر بگونه‌ای است که سختی خود را تا دمای سرخ شدن حفظ میکنند. آنها ثبات ابعادی بسیار عالی داشته و قابل سخت‌شدن در هوا، روغن یا نمکهای مذاب هستند. مقاومت به سایش‌خوب، مقاومت در برابر شوک و قابلیت ماشینکاری آنها مناسب‌میباشد اما در مقابل کربورزدائی در حین عملیات حرارتی ضعیف هستند.

فولادهای تندبر به دو دسته تقسیم میشوند:

الف) فولادهای تندبر با پایه مولیبدن (نوع M)

ب) فولادهای تندبر با پایه تنگستن (نوع T)

با توجه به کاربرد و تولید ابزار تفاوت‌های اندکی بین این دو نوع وجود دارد. اما خواص‌اساسی آنها کاملا" شبیه یکدیگر است. افزودن کبالت به آلیاژهای تندبر

قابلیت حفظ سختی در دماهای زیاد را بهبود می‌بخشد، اما انعطاف‌را کاهش‌داده و در برابر کربورزدائی نیز آنها را حساس میکند ، در شرایطی که سایش‌شدید مطرح باشد فولادهای تندبر وانادیوم‌دار بهترین کارکرد را دارند.

فولادهای تندبر بدلیل داشتن ذرات ریز و سخت کاربايد در ساختار میکروسکوپی خود برای ابزارهای برشکاری نظیر الماسهای فرزکاری ، دریل ها، برقوها ، سرمته‌ها، ابزارهای مخصوص‌چوب و تیغه‌های اره بسیار مناسب‌هستند.

فولادهای قالب MOLD STEELS

این فولادها بطور عمده حاوی کرم و نیکل بوده و مقادیر کمی وانادیم و مولیبدن نیز دارند. سختی آنها کم بوده و معمولا" در حالت آنیل شده بکار میروند و خاصیت کارسختی WORK HARDENING ندارند.

در صورت نیاز به مقاومت در برابر سایش‌این فولادها را میتوان طی فرآیندهای در حدود ۵۸ تا ۶۴ راکول HRC سخت کرد. سختی فولادهای قالب‌در دماهای بالا بسرعت کاهش می یابد و فقط برای بدنه‌های قالب‌هائی نظیر قالب تزریق پلاستیک میتوانند استفاده شوند.

فولادهای ابزار ویژه SPECIAL-PURPOSE STEELS

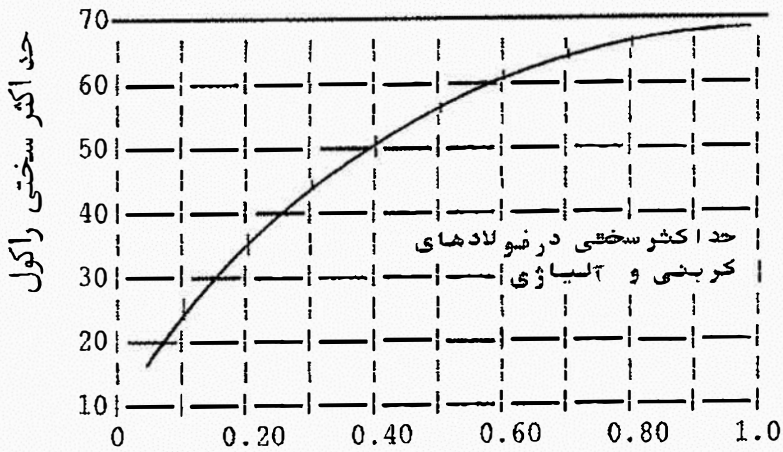
از آنجائیکه فولادهای فوق در هیچیک‌از طبقه‌بندی ها بخوبی قرار نمی گیرند، آنها را تحت‌عنوان فولادهای ویژه نام‌گذاری کرده‌اند. این آلیاژها گران بوده وموارد استفاده خاصی دارند. عناصر اصلی آلیاژی آنها عبارت از کرم به اضافه وانادیم ، نیکل و مولیبدون می باشد. کرم در ترکیب‌با آهن ، کاربايد دوتائی سختی را ایجاد می کند . نیکل باعث افزایش‌چقرمگی شده و وانادیم آن را ریزدانه میکند. فولادهای ویژه سخت شونده در روغن هستند و در نتیجه ثبات ابعادی متوسطی دارند. کاربرد اصلی آنها در اجزاء ماشینها نظیر بلبرینگها، صفحه کلاچ ها، بادامکها و غیره است که باید علاوه بر مقاومت به سایش، ضربه‌پذیری و چقرمگی خوبی را دارا باشند.

متالورژی فولادهای ابزار

فولادهای ابزار جهت‌حصول به ساختار مارتنزیتی و سختی در حدود ۶۰ راکول HRC معمولا" حاوی حداقل ۰/۶ درصد کربن هستند. در شکل [۳] اثر افزایش‌کربن نسبت به سختی

فولادها نشان داده‌شده‌است. البته در بعضی از ابزارها برای بهبود ضربه‌پذیری و تحمل شوک مقدار کربن را کمتر از حد مذکور در نظر میگیرند.

شکل [۳]

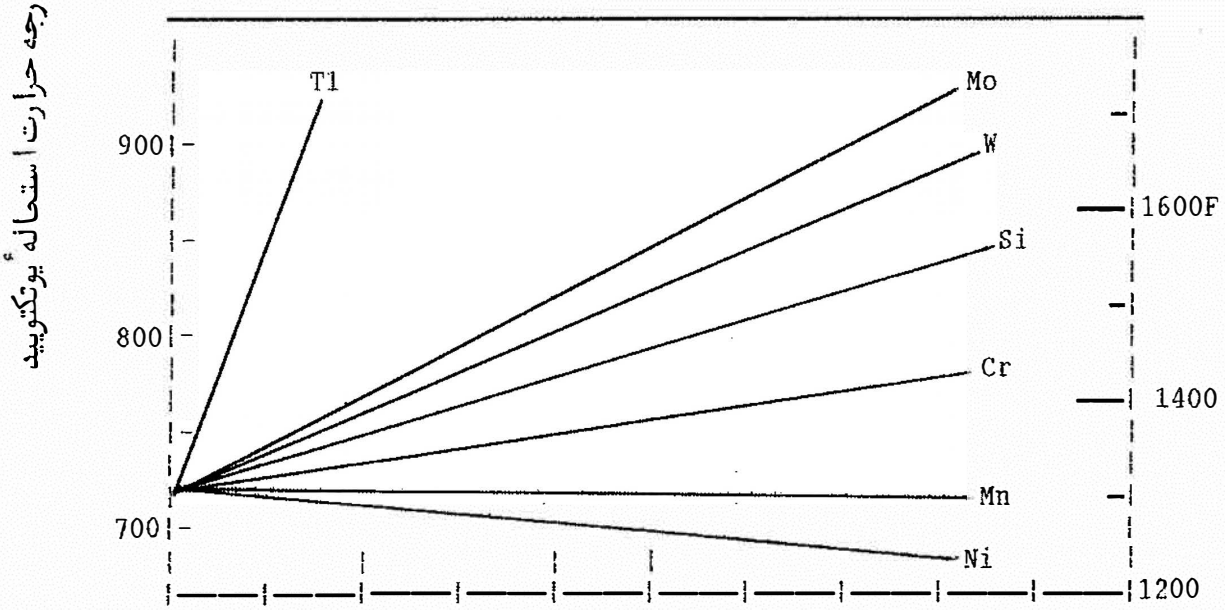


تاثیر مقدار کربن بر حداکثر سختی فولادها

قوانین حاکم بر سختی پذیری فولادهای ابزار کاملا" مشابه دیگر فولادهای آلیاژی است. در اینجا نیز فولاد ابزار کربنی ساده سختی پذیری کمتری دارد و باید در آب‌سرد شود. ابزارهای آلیاژی به سرعت سرد کردن آهسته‌پذیری نیاز داشته و میتوانند در هوا یا روغن سرد شوند. تاثیر افزایش عناصر آلیاژی بر دمای یوتکتوئید (A1) فولادها در شکل [۴ الف] دیده میشود. کرم، مولیبدن و تنگستن که از پر مصرف ترین عناصر آلیاژی ابزارها هستند پایدار کننده فریت‌بوده و موجب‌افزایش‌دمای یوتکتوئید میشوند. وانادیوم هم تاثیری مشابه عناصر فوق دارد و منحنی مربوط به آن بین خطوط مولیبدن و تیتانیم قرار خواهد گرفت. [شکل ۴ الف]

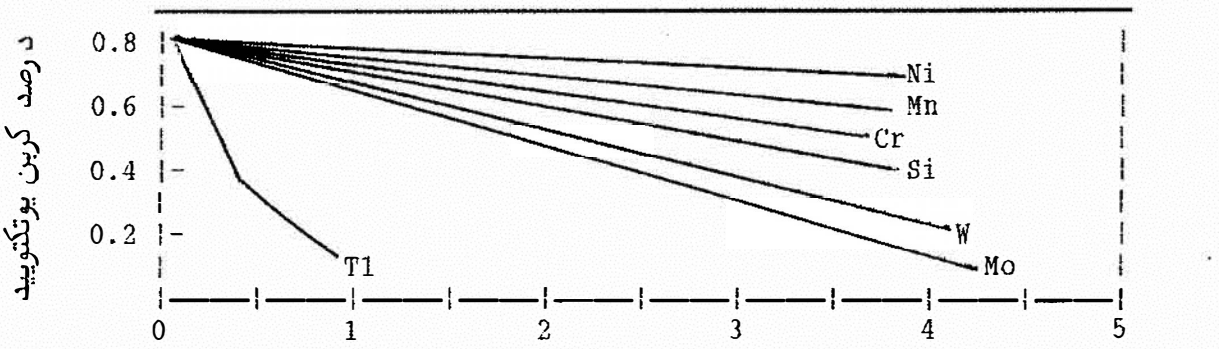
با افزایش‌عناصر آلیاژی مقدار کربن مورد نیاز جهت‌تشکیل فاز یوتکتوئید کاهش می یابد. در شکل [۴ ب] اثر عملی عناصر آلیاژ ری را میتوان به این صورت بیان نمود که در چنین مواردی به دمای بالاتری نیاز است تا کاربایدها در آوستنیت کاملا" حل شوند.

شکل [الف۴]



الف

شکل [ب ۴]



[درصد وزنی عناصر آلیاژی]

ب

شکل شماره ۴ :

الف) تاثیر عناصر آیاژی بر دمای یوتکتوییید
ب) میزان کربن مورد نیاز استحاله یوتکتوییید در فولادهای آلیاژی

با افزایش مقدار کربن در آوستنیت سرعت استحاله آوستنیت به دیگر ساختارهای میکروسکوپی کندتر میشود. بنابراین آوستنیت پر کربن حتی در سرد کردنهای سریع QUENCHING میتواند دردمای معمولی باقی بماند. دراینمورد سردکردن فولاد تا دماهائی زیر دمای معمولی (ROOM TEMP.) موجب خواهد شد که بیشتر آوستنیتهای باقیمانده به مارتنزیت‌تبدیل شوند.

بطور کلی همه عناصر آلیاژی در فولادهای ابزار (باستثناء کبالت) درجه حرارت‌تبدیل آوستنیت به مارتنزیت را کاهش میدهند. کبالت که عنصر اصلی آلیاژی در فولادهای تندبر است دمای استحاله فوق را افزایش میدهد.

مشکل اصلی در جوشکاری فولادهای ابزار با در نظر گرفتن ترکیب شیمیائی و عملیات حرارتی این فولادها معمولا" عبارت است از حساسیت به ترک برداشتن بخصوص ترک برداشتن ناحیه تحت تاثیر حرارت (H.A.Z) در اثر نفوذ هیدروژن . مسئله دیگر نیاز به سنگ زدن یا ماشینکاری جهت پرداخت و شکل دادن نهائی در جوشکاری تعمیراتی ابزارهاست که به سهم خود سبب افزایش تنشهای پسماند میشود، بدین لحاظ در انتخاب الکترود و روش جوشکاری دقت زیادی باید اعمال کرد.

حرارت داده شده بالا HEAT INPUT همراه با سرد کردن آرام پس از جوشکاری موجب کاهش حساسیت ابزارها به ترک برداشتن میشود ، اما از طرف دیگر با ایجاد مناطق نرم خواص مطلوب ابزارها را ضعیف میسازد.

بخش سوم : جوشکاری ابزارها

جوشکاری فولادهای ابزار به دو روش کلی امکان پذیر میباشد. جوشکاری ساده که بیشتر مناسب موقعیت و شرایط کارگاههای ساختمانی است وجوشکاری با عملیات حرارتی کامل که نیاز به تجهیزات و وسائل گرانقیمت دارد، اما نتیجه کار آن بهتر است.

جوشکاری با عملیات حرارتی کامل WELDING WITH FULL HEAT TREATMENT

ابزارها عموما" در حالت سخت شده نسبت به تنشهای حرارتی و ترک برداشتن حساس میباشند، بهمین علت بهتر است که قبل از جوشکاری آنها را با ANNEALING نرم کرد، مجددا" آنیل نمود و پس از جوشکاری و ماشینکاری لازم مجددا" سخت کاری کرد.

بطور خلاصه عملیات حرارتی شامل مراحل ذیل میباشد.

۱- بسته به ترکیب شیمیائی ابزار را در دمائی بین ۷۰۰ الی ۸۰۰ درجه سانتیگراد گرم کرده، مدت مناسبی در این دما نگهداشته و به آهستگی سرد کنید.

۲- با توجه به این مطلب که خروج از فاز آوستنیت در اغلب فولادهای ابزار بین ۴۰۰ الی ۵۰۰ درجه سانتیگراد صورت گرفته و به آهستگی کامل میگردد:

الف) برای آوستینتی شدن کامل و کاهش سختی ، ابزار را مجددا" تا ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد گرم کنید.

ب) اجازه دهید که ابزار تا درجه حرارت شروع جوشکاری یعنی حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد سرد گردد.

پ) ابزار را در دمای ۴۵۰ درجه جوشکاری کرده (دمای فوق باید در تمام مدت جوشکاری ثابت نگهداشته شود) به آرامی سرد کنید و پس از ماشینکاری لازم :

۳- در هوا یا روغن بسرعت سرد کنید QUENCHING .

۴- پس از سختکاری برای کاهش تنشهای باقی مانده لازم استکه ابزار بازپخت TEMPER شود. اگر الکترود و روش جوشکاری بدرستی انتخاب شده باشند، با رعایت نکات بالا ابزار و ناحیه تحت تعمیر دارای سختی و خواص مناسب خواهند شد.

جوشکاری ساده

جوشکاری با عملیات حرارتی کامل بعلت احتمال پوسته شدن SCALING و تغییر ابعاد ابزار فرآیندی بسیار دشوار بوده و نیاز به حوصله و دقت نظر زیادی دارد که در شرایط کارگاههای ساختمانی اغلب غیرممکن میباشد. در چنین مواردی :
بسته به ترکیب شیمیائی ، ابزار ۲۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتیگراد پیش‌گرمایش شده و پس از اتمام جوشکاری طبق توصیه‌های مندرج در جدول شماره [۵] پس‌گرمایش شود. گرچه به این طریق جوش حاصل دارای ساختار میکروسکوپی و سختی ایده آل نخواهد شد اما خواص آن جهت اکثر موارد عملی کافی است. گذشته از آن در هزینه و زمان تعمیرات صرفه‌جوئی میگردد. پیش‌گرمایش ، تنشهای ناشی از جوشکاری را کاهش داده و بازپخت TEMPRING مارتنزیت ایجاد شده را نرم می کند. دمای بازپخت با درجه حرارت

جدول شماره [۵]

درجه حرارت پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش توصیه شده برای ابزارهائی که قابلیت جوشکاری دارند

شماره AISI/SAE استاندارد ابزار	نوع	پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش C
W1 - WS	سخت‌شونده در آب	۲۰۰ -۳۰۰
O1 - O5	سخت‌شونده در روغن	۲۰۰ -۲۳۰
O6 - O7		۲۳۰ -۲۶۰
A2 - A6	سخت‌شونده در هوا	۳۱۵ -۳۵۰
A7 - A10		۴۸۰ -۵۱۰
M1 - M42	فولاد تند بر	۴۸۰ -۵۴۰
S1 - S7	مقاوم در برابر شوک	۲۶۰ -۳۱۵
L6 - L7	فولاد	۴۵۰ -۴۸۰
P20	فولاد	۲۶۰ -۲۹۰
D2	فولاد پر کربن	۴۸۰ -۵۱۰
D-5-D7	فولاد پر کرم	۵۱۰ -۵۴۰

(ادامـــــــــــه جـــدول ۵)

شماره AISI/SAE استاندارد ابزار	نـــــــــوع	پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش C
H12 - H21	فولاد گرم کار	۴۸۰ -۵۱۰
T21	فولاد تندبر تنگستن دار	۴۸۰ -۵۴۰
1045	فولاد کربنی منگنزدار	۱۷۵ -۲۰۰
1050		
4130	فولاد کم آلیاژ	
4140	فولاد با کربن متوسط	۲۰۰ -۲۳۰
3140	فولاد کرم - مولیبدن	
6150	فولاد با ۰/۵% کربن	۲۶۰ -۳۱۵
6145	فولاد کرم - وانادیوم	
4340	فولاد با ۰/۴% کربن و آلیاژشده باکرم نیکل و مولیبدن	۴۵۰ -۴۸۰

پیش‌گرمایش یکسان میباشد و زمان لازم برای نگهداری فولاد در آن دما بازاء هر ۲۵ میلی متر برابر یکساعت خواهد بود. بهترین روش اجرای پیش‌گرمایش استفاده از کوره‌های حرارتی است، اما در صورتی که استفاده از کوره مقدور نباشد بارعایت‌دقت از مشعل اکسی -استیلن هم میتوان استفاده کرد. نکته مهم در پیش‌گرمایش سرعت آرام و یکنواخت‌گرم شدن می‌باشد . دمای پیش‌گرمایش‌را در تمام زمان جوشکاری باید ثابت نگهداشت.

جهت‌لایه‌های پرکربن ابزارهای باجوش‌پذیری ضعیف‌الکترودهای نرمتر نظیر AWS:E312-16 و برای ابزارهای کم آلیاژ و آن دسته که جوش‌پذیری بهتری دارند ، الکترودهای کم-آلیاژ با ۳ تا ۴% کروم و حدود ۱% منگنز توصیه میشود، از الکترودهای سخت بایستی فقط در ۲ الی ۳ پاس انتهایی استفاده و جهت‌نیازهای ماشینکاری ضخامت اضافی را هم در نظر گرفت.

انتخاب الکترود

عوامل متعددی در انتخاب الکترود برای فولادهای ابزار موثرند، مهمترین این عوامل عبارتند از :

۱- ترکیب شیمیائی ابزار
۲- نوع عملیات حرارتی ابزار
۳- شرایطی که جوش تعمیری با آن روبرخواهدشد
۴- عملیات حرارتی پس گرمایش

از آنجائیکه در انتخاب الکترود تطابق دقیق ترکیب شیمیائی الکترود و فولاد ابزار معمولا" غیرممکن میباشد، مسئله اصلی در این انتخاب تطابق خواص کاربردی جوش تعمیری نسبت به ابزار اصلی میباشد.

جدول شماره [۶]

طبقه بندی الکترودهای ابزار براساس ترکیب و نوع جوش

نوع الکترود	ساختار و ترکیب فلز جوش
الکترودهای سردکار COLD-WORKING	مارتنزیتی با ۱۳% کروم
الکترودهای گرم‌کار HOT-WORKING	مارتنزیتی همراه با کاربايد %
	Nb Co W Cr
	۰/۸ ۳ ۸ ۱/۵
الکترودهای با پایه فولادی	مشابه فولادهای تندبر %
AWS A5.13 : EFe5B	V Mo W Cr
	۱/۶ ۷/۵ ۲ ۴/۵
الکترودهای با پایه کبالت	مشابه استلایت %
AWS A5.B : E Co Cr-A	W Co Cr
	۰/۵ ۶۰ ۲۹
الکترودهای با پایه نیکل	مشابه هستالوی %
AWS A5.13 : ENi Mo Cr-1	Ni Mo W Cr
	۶۴ ۱۶ ۰/۴ ۰/۰۱۵

درجدول [۶] الکترودهای ابزاربراساس ساختارمتالورژیکی جوش حاصل طبقه‌بندی شده اند.

بعنوان مثال چون اغلب اوقات ابزارها در دماهای زیاد کار میکنند، یکی از مهمترین خواص جوشهای تعمیری امکان حفظ سختی در درجه حرارتهای بالا است. مثلا" سختی جوش حاصل از الکترودهای کم آلیاژی دردمای حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد بشدت کاهش می یابد، درحالیکه فولادهای ابزار تندبر سختی خودرا تاحدود ۶۰۰ درجه نیز بخوبی حفظ میکنند. الکترودهائی که فلز جوش از نوع استلایت ایجاد میکنند در مقابل سایش در دماهای بالا بسیار خوب عمل کرده وعموما" برای ابزارهای برنده مخصوص کاردرحرارتهای زیاد توصیه میشوند. در درجات حرارت پائین الکترودهای از جنس فولاد تندبر با داشتن ضربه پذیری خوب از دیگر انواع کارکرد بهتری دارند. الکترودهای از نوع هستالوی اگر چه سختی زیادی ندارند ولی در حرارتهای بالا سختی و مقاومت خود را از دست نمیدهند. این الکترودها حتی در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت کششی بیش از ۴۰۰ N/MM2 از خود نشان داده اند. هستالوی همچنین در قابل شوکهای حرارتی اکسیدشدن بسیار مقاوم است.

جدول شماره [۷]

انتخاب الکترود مناسب جوشکاری فولادهای ابزار

نوع ابزار	نوع فولاد	خواص مورد انتظار	نوع و ترکیب شیمیایی الکترود							سختی اکول HRC
قالب های سردکار	سخت شونده در هوا	مقاومت به ضربه	DIN 8555 E6 - 55r	C ۰/۲۵	Si ۰/۵	Mn ۰/۳	Cr ۱۳			۵۱ - ۵۶
ابزارهای فرم دهی سرد قالب های برش سردکار	سخت شونده در روغن	مقاوم در برابر شوک مقاوم به سایش	DIN 8555 E- 3- 55C	C ۰/۲۵	Si ۰/۵	Mn ۰/۳	Cr ۱۳	W ۳/۵		۶۰ - ۶۴
قالب های دایکاست قالب های پلاستیک قالب های فورج گرمکار بسته های برش گرمکار سنبه های برش گرمکار قالب های اکستروژن	فولاد گرمکار آلیاژ کبالت و تنگستن	حفظ مقاومت مکانیکی ، سختی ، تحمل شوک و مقاومت به سایش در حرارتهای زیاد	DIN 8555 E3 - 50 S	C ۰/۳۵	Cr ۱/۵	W ۸	Nb ۰/۸	Co ۲		۵۳ - ۵۷
قالب های برش گرمکار قالب های دقیق گرمکار تیغه های برش گرمکار تیغچه های فرز	فولاد تندبرمولیبدون دار کبالت و تنگستن	حفظ قدرت برش و مقاومت به ضربه در دماهای بالا	DIN 8555 E3 - 50 S	C ۰/۳۵	Cr ۱/۵	W ۸	Nb ۰/۸	Co ۲		۵۳ - ۵۷
قالب های فورجینگ قالب های اکستروژن	مشابه هستالوی با پایه نیکل	مقاومت به ضربه و خستگی مقاومت به خستگی و اکسیده شدن تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد	DIN 8555 E4 -60 S AWS A5.13 Efe 5B	C ۰/۹	Cr ۴/۵	Mo ۷/۵	W ۲	V ۱.۶		۶۰ - ۶۵
قالب های استامپ کاری TRIMMING CUTTERS PUNCHES	مشابه استلایت با پایه کبالت	مقاومت در مقابل شوکهای سنگین حفظ سختی در دماهای بالا مقاومت به پوسته شدن در درجه حرارتهای زیاد								

پیوست شماره [۱]

آماده‌سازی ابزار جهت تعمیرات

فولادهای ابزار بعلت شرایط سخت و دشوار بهره‌برداری نظیر ضربه‌های سنگین ، دماهای زیاد ، برودت پائین ، سایش شدید ، شرایط خورنده و غیره اغلب دچار فرسودگی موضعی می شوند .

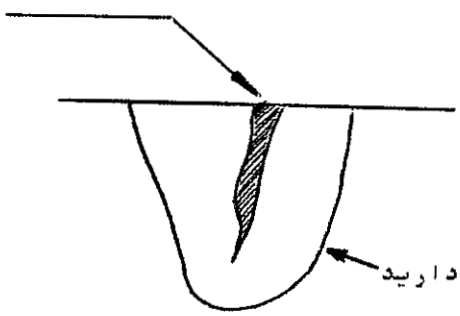
این فرسودگی اکثر اوقات با ایجاد ترک نیز همراه است . بهمین جهت آماده‌سازی ابزار قبل از شروع جوشکاری تعمیراتی بسیار مهم میباشد و نتیجه کار تعمیرات به میزان زیادی بستگی به این امر دارد .

آماده سازی

نواحی فرسوده قبل از هرکاری باید به دقت تمیز گردند . چربی ، گردو غبار ، رنگ و دیگر آلودگیها بایستی کاملا" برداشته شوند . علاوه بر آلودگیهای خارجی ، پوسته سطحی ابزارها معمولا" در اثر کارسرد سخت میشوند . این لایه‌های کار سخت‌شده WORK HARDEN نسبت به تنشهای حرارتی حساس بوده و به آسانی ترک بر میدارند و باید قبل از جوشکاری بوسیله سنگ‌زدن از نواحی تحت‌تعمیر برداشته شوند . پس از تمیزکاری ابزار ، بازرسی آن با روشهائی نظیر بازرسی چشمی ، بازرسی با مایعات نافذ رنگی ذرات مغناطیسی جهت ترک‌یابی ضروری است .

در صورت‌وجود ترک‌لازم است‌که امکان پیشرفت‌آنرا با ایجاد سوراخ در ابتدا و انتها از بین برد و سپس با سنگ‌زنی یا برشکاری بوسیله الکترود ذغالی GOUGING نسبت به رفع ترک اقدام کرد .

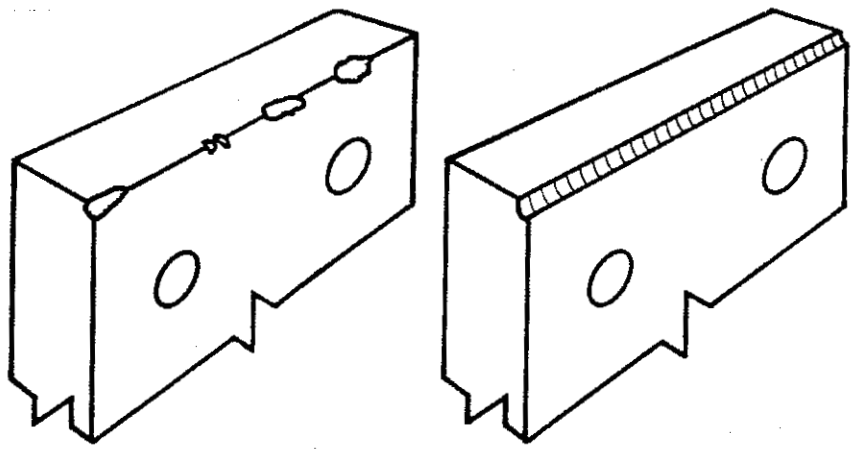
برای اطمینان از رفع کامل ترک باید حتی الامکان ۲ الی ۳ میلی متر از فلز سالم زیر ترک‌را نیز برداشت .



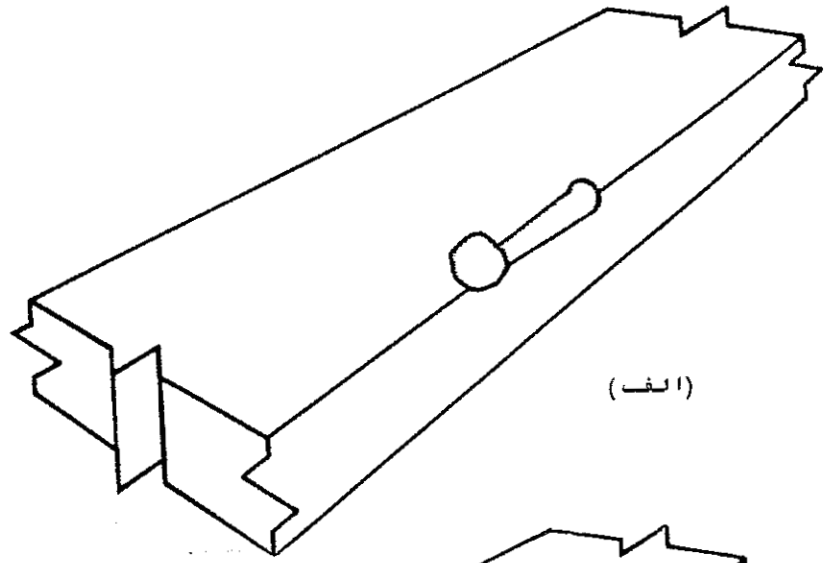
در انتها جهت‌ایمنی بیشتر بازرسی مجدد ناحیه برداشته شده توصیه میشود .

نکته قابل توجه در آماده‌سازی ابزار آرایش نهائی نواحی تحت تعمیر است . آرایش لبه‌های برش با شیب مناسب بنحوی که امکان دسترسی کامل به عمق ناحیه برداشته شده

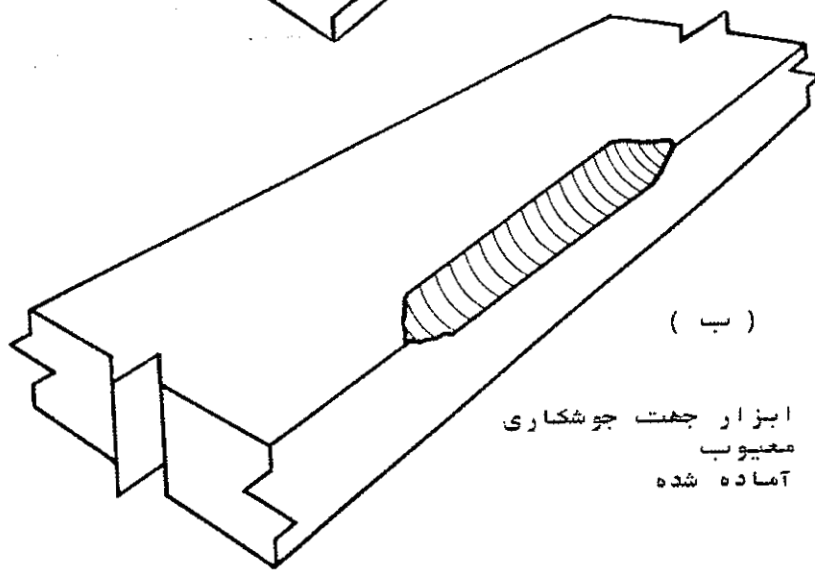
موجود باشد، اجتناب از گوشه‌های تیز که محلهای تمرکز تنش هستند و غیره از نکاتی هستند که عدم توجه آنها میتواند تعمیرات را با اشکالات جدی روبر سازد.



آماده‌سازی ابزار جهت جوشکاری
الف) لبه معیوب
ب) لبه آماده شده

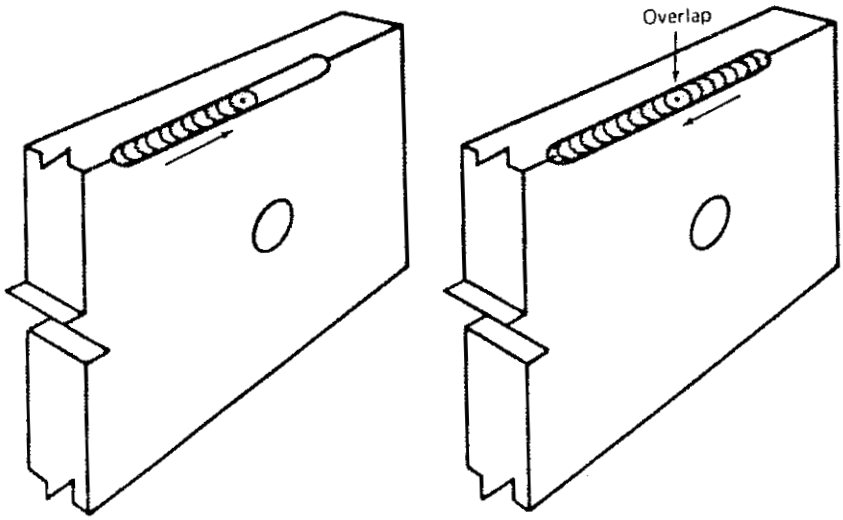


(الف)



(ب)

آماده‌سازی ابزار جهت جوشکاری
الف) لبه معیوب
ب) لبه آماده شده



برای ممانعت از ترک برداشتن جوش در لبه‌ها همواره جوشکاری را از گوشه‌ها بطرف مرکز شروع کنید.

منابع

۱- WELDING HAND BOOK - VOLUME 4 (AWS)

۲- REPAIR WELDING HAND BOOK (ESAB AB)

۳- THE PROCEDURE HAND BOOK OF ARC WELDING (LINCOLN CO.)

انتخاب الکترود براساس نوع ابزار

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	سختی HRC
ابزارهای کشاورزی تحت سایش	AWS A5.13: E Fe Cr A1	4.5	33					60
	DIN 8555 : E 10- 60 Z							
	DIN 8555 : E 6 - 55	0.4	6	0.4	0.7	0.6		55-58
پلیت زره دار ARMOUR PLATE	DIN 8556 : E 188 Mn 6 B 20	0.05	17.5	0.3	6.5		9	
	AWS A 5.4 : E 312 -16	0.1	29.5	0.7	1.5		9	
مخلوط کن آسفالت	A.WS A5.13 :E Fe Cr A1	4.5	33					60
مته حفاری	A.WS A5.13 :E Fe Cr A1	4.5	33					60
پولی	DIN 8555 :E1 - 300	0.1	3.2	0.5	0.7			31-34
کفشک ترمز	DIN 8555 :E1 – 300	0.1	3.2	0.5	0.7			31-34
پرس بریکت سازی	DIN 8555 :E1 – 300	0.1	3.2	0.5	0.7			31-34
		0.7	2	4	0.4			44-49
اتصال برنز به فولاد	AWS A5.6 : E CU SN-C					CU	SN P	
					0.7	91	7.5 0.2	
چد ن	AWS A5.15 : E N1-C1	1	2Fe	½	0.4		95	
	AWS A5.15 : E N1Fe-C1	0.7	43Fe	0.7	0.6	0.05cu	55	
فولاد ریختگی	AWS A5.1 : E 7018-1	0.1		0.5	1/3			
	AWS A5.4 : E 312-16	0.1	29/5	0.7	1/5		9	
مخلوط کن بتن	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33					60
زنجیر نقاله	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	0.7	2	4	0.4			60
		4/5	33					

انتخاب الکترود براساس نوع ابزار

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	سختی HRC
زنجیر ماشین اره (پلیت راهنما)	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33					60
قلم	DIN 8555 : E6-55r DIN 8555 : E-3-55t	0.25 0.6	13 1	0.5 0.9	0.3 1.5	 2.5 w		51-56 60-64
لوله چدنی کادچ	AWS A5.15 :E N1 C1 AWS A5.15 :E N1 Fe C1	1 0.7		½ 0.7	0.4 0.6	 0.05<cu	95 2Fe 55 43Fe	
قالب ساخته شده بروش سردکار	DIN 8555 :E6-55r AWS A5.13 :E Fe 5B	0.25 0.9	13 4/5	0.5	0.3	 7/5	 2w 106v	51-56 60
مس	AWS A5.6 :E Cu Sn-C AWS A5.6 :E Cu S1		91Cu 93Cu	 3	0/7 1/5	7/5 sn 2 Fe	0/2P	
اتصال مس به فولاد	AWS A5.6 :E Cu-Sn-e		91Cu		0.7	7/5sn	0/2P	
قرقره جرثقیل	DIN 8555 :E1-300	0.1	3/2	0/5	0/7			31-34
پره آسیاب (تحت سایش)	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33					60
فک آسیاب (تحت ضربه و سایش)	DIN 8555 :E6-55	0.7	10.5	0/5	0/7			55-58

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	سختی HRC
میله راهنما	DIN 8555 : E 1-300 DIN 8555 : E 6-55r	0.1 0.25	3/2 13	0.5 0.5	0.7 0.3									31-34
فولاد پرمنگنز (هادفیلد)	AWS A5.13 : E Fe Mn –A DIN 8556 : E 188 Mn 6B20	0.75 0.05	 17/5	 0.3	14 6/5		3/5 9							 35-40
فکهای آ سیاب (تحت سایش)	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	4/5	33											
چکشهای آسیاب (تحت ضربه)	DIN 8555 : E 6-55													
ابزارگرم کار	DIN 8555 : E 3-503 AWS A5.11 : E N1 MO Cr-1	0.35 0.05	1/5 15			 16	 64	2	8 4		0.8			53-57
کفشک ترمز (تحت ضربه)	DIN 8555 : E6 - 55	0.7	10/5	0.5	0.7									
چرخ پره	DIN 8555 : E -55	0.7	10/5	0.5	0.7									
فکهای سنگ شکن	AWS A5.13 : E Fe Mn- B DIN 85551 : E6 – 55	1/1 0.7	 10/5	1 0.5	13 0.7									
ویبراتور	AWS A5.13 : E Fe Cr A1 DIN 8555 : E6-5 S	4/5 0.7	33 10/5	 0.5	 0.7									
جای خار KEY WAYS	AWS A5.4 : E 312-16	0/1	29/5	0.7	1/5		9							
فولاد پرمنگنز	AWS A5.13 : E Fe Mn-A DIN 8555 :E8-200 CK2	0.75 0.1	 18	 0.3	14 6		3/5 9							
اتصال فولاد نرم به فولاد زنگ نزن	DIN 8556 :E8-200 CK2 AWS A5.4 :E312-16	0.1 0.1	18 29/5	0.3 0.7	6 1/5		9 9							
تیغچه تراش (فلزات)	AWS A5.13 :E Fe 5 B	0.9 0.6	4/5 1	 0.9	 1/5	7/5		2 5/2		1/6				60-64

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	سختی HRC
تیغچه تراش (چوب)	DIN 8555 : E 6-55 r DIN 8555 : E -3 -55 t	0.25 0.6	13 1	0.5 0.9	0.3 1/5				 2/5					51-56
غلطک های نورد فلزات	DIN 8555 : E6 55 r AWS A15.13 : E Fe 5 B	0.25 0.9	13 4/5	0.5	0.3	 7/5			 2	 1/6				60-65
تیغه های هم زن بتن	DIN 8555 : E6-55 AWS A5.13 : E Fe Cr A1	0.7 4/5	10/5 33	0.5	0.7									55-58
تیغه های هم زن آسفالت	DIN 8555 : E6-55 AWS A5.13 : E Fe Cr A1	0.7 4/5	10/5 33											
هم زن پلاستیک	AWS A5.13 : E Co Cr-A	1	29					60	5					40-45
فلز مونل	AWS A5.11 : E N1 CU-2	0.06			5						1/5	30	0.4	
آ لیاژهای پایه نیکل	AWS A5.11 : E N1 Cr Fe-3	≤0/1	15	0/4	7/5		64			<10Fe	2/5			
اتصال آلیاژهای نیکل به فولاد	AWS A5.11 : E N1 Cr Fe-3	≤0/1	15	0/4	7/5		64			<10Fe	2/5			
قالب اکستروژن پلاستیک	DIN 8555 : E3-50 S	0.35	1.5					2	8		0.8			47-52
تیغه گاوآهن	AWS A5.13 : E Fe Cr A1 DIN 8555 : E6-55	4/5 0.4	33 6	 0/4	 0/7	 0/6								55-58
سمبه علامت زن	AWS A5.13 : E Fe 5 B	0.9	4/5			7/5			2	1/6				60
سنگ شکن مخروطی	AWS A5.13 : E Fe Mn -A	0.75			14		3.5							40
تیغه ماشین شخم زنی	AWS A5.4 : E 312-16	0.1	29/5	0.7	1/5		9							
ابزاربرش (سردکار)	DIN 8555 : E-3-55 t AWS A5.13 :E Fe 5 B	0.6 0.9	1 4/5	0.9	1/5	 7/5			2/5 2	 106				

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	سختی HRC
ابزاربرش (گرمکار)	AWS A5.13 : E Co Cr-A	1	29					60	5					
	DIN 8555 : E3-50S	0.35	1/5	8w	0.8Nb			2						
فولادهای با جوش پذیری کم	DIN 8556 :E 188 Mn 6 B 20	0.05	17/5	0.3	6/5		9							
	AWS A5.4 :E 312 -16	0.1	29/5	0.7	1/5		9							
چکش سنگ شکن	DIN 8555 :E6-55	0.7	10.5	0.5	0.7									
	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33											60
لایروب	DIN 8555 :E6-55	0.7	10.5											
	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33											
DRAG LINKS		0.7	2	4	0.4									
	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33											
DREDGE BUCKET	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5	33											
		0.7	2	4	0.4									
مته (سوراخکاری فولاد)	AWS A5.13 :E Fe 5 B	0.9	4/5			7/5			2	1/6				
مته (سوراخ کاری چوب)	DIN 8555 :E6-55r	0.25	13	0.5	0.3									
قالب فورجینگ	DIN 8555 :E3-50S	0.35	1/5					2	8	Nb0.8				53-57
	AWS A5.11 :E NI MO Cr-1	0.05	15			16	64		4					40
مته حفاری	AWS A5.13 :E Fe Cr-A1	4/5	33											
	DIN 8555 :E6-55	0.7	10/5	0.5	0.7									58-55
ابزار برجسته کاری EMBOSSING TOOL	AWS A5.13 :E CO Cr –A	1	29					60	5					
بلوک موتوری	AWS A5.15 :E NI –C1	1		½	0.4		95	2Fe						
	AWS A5.15 :E N1 Fe-C1	0.7		0.7	0.6		55	43Fe	<0.05CU					
غلطکهای لنگ (خارج ازمرکز)	DIN 8555 :E6-55r	0.25	13	0.5	0.3									
	DIN 8555 :E6-55	0.7	10/5	0.5	0.7									
قالب اکستروژن	DIN 8555 :E3-50 S	0.35	1/5					2	8	0.8Nb				
	AWS-A5.11 :E N1 MO Cr -1	0.05	15			16	64		4					

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	سختی HRC
مارپیچ تزریق پلاستیک	DIN 8555 : E3-50 S AWS A5.11 : E N1 Mo Cr-1 AWS A5.13 ; E Co Cr-A	0.35 0.05 1	1.5 15 29			16	64	2 60	8 4 5	0.8Nb				
مارپیچ تغذیه بتن	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	0.7 4/5	2 33	4	0.4									
اره برقی چوب بری	DIN 8555 : E6-55 DIN 8555 : E1-300	0.4 0.7 0.1	6 10/5 3/2	0.4 0.5 0.5	0.7 0.7 0.7	0.6								55-58 31-34
چرخ دنده	DIN 8555 : E1-300 AWS A5.5 : E312-16	0.1 0.1	3/2 29/5	0.5 0.7	0.7 1/5		9							
پوسته جعبه دنده	AWS A5.15 :E N1-C1 AWS A5.15 :E N1 Fe-C1	1 0.7		½ 0.7	0.4 0.6		95 55	2Fe 43Fe						
سنبه های سرد کار	AWS A5.13 :E Fe 5 B DIN 8555 :E-3-55t	0.9 0.6	4/5 1	0.9	1/5	7/5			2 2/5	1/6				
سنبه های گرمکار	AWS A5.13 :E Co Cr-A DIN 8555 :E3-50 S	1 0.35	29 1/5					60 2	5 8		0.8			
ریلهای قطار	SWS A5.5 :E 9018-D1 DIN 8555 :E1-300	0.06 0.1	 3/2	0.4 0.5	1/3 0.7	0.4								
	AWS A5.13 :EFe Cr A1	4/5	33											
	DIN 8555 : E6-55 AWS A5.13 :E Fe Mn-A	0.7 0.75	10.5	0.5	0.7 14		3/5							30-40
سنگ شکن غلطکی	AWS A5.13 :E Fe Cr A1	4/5 0.7	33 2	4	0.4									60
	DIN 8555 : E6-55	0.7	10.5	0.5	0.7									
	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	0.7 4/5	2 33	4	0.4									
محور (فولاد آلیاژی)	AWS A5.4 : E312-16 DIN 8555 :E1-300	0.1 0.1	29/5 3/2	0.7 0.5	1/5 0.7		9							

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	Fe	سختی HRC
محور (فولاد نرم)	AWS A5.5 : E 9018-D1	0.06		0.4	1/3	0.4									
	DIN 8555 : E1-300	0.1	3/2	0.5	0.7										
	AWS A5.4 : E312-16	0.1	29/5	0.7	1/5		9								
تیغه های قیچی (سردکار)	AWS A5.13 :EFe 5B	0.9	4/5			7/5			2	1/6					
	DIN 8555 :E-3-55 t	0.6	1	0.9	1/5				2/5						
تیغه های قیچی (گرمکار)	DIN 8555 :E 3-50S	0.35	1/5					2	8	0.8					
	AWS A5.11 :E N1 Mo Cr-1	0.05	15			16	64		4						40
تیغچه فرز	AWS A5.13 :E Fe 5 B	0.9	4/5			7/5			2	1/6					90-65
تیغه های برش (چوب)	DIN 8555 : E6 -55 r	0.25	13	0.5	0.3										
	DIN 8555 :E-3-55 t	0.6	1	0.9	1/5				2/5						60-64
نافنکهای بیل مکانیکی	AWS A5.4 : E 312-16	0.1	29/5	0.7	1/5		9								
	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	4/5	33												
باکت ماشینهای راهسازی	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	4/5	33												
	DIN 8555 : E6-55	**0.7**	**10/5**	**0.5**	**0.7**										
نا خنکهای ماشینهای راهسازی (تحت سایش)	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	4/5	33												
نا خنکهای ماشینهای راهسازی (تحت ضربه)	DIN 8555 : E6-55	**0.7**	**10/5**	**0.5**	**0.7**										
تعمیر ناخنکهای دستگاههای راهسازی	AWS A5.1 : E70 18 -1	**0.1**		**0.5**	**1/3**										
	DIN 8556 : E6-200 CK2	**0.05**	**17/5**	**0.3**	**6/5**		**9**								
نگهدارنده ناخنکهای دستگاههای راهسازی	DIN8555 :E6-55	**0.4**	**6**	**0.4**	**0.7**	**0.6**									
برنز سیلیکون دار	AWS A5.6 : E Cu S1	**3**			**1/5**								**93cu**	**2**	
فولاد فنر	AWS A5.4 : E312-16	**0.1**	**29/5**	**0.7**	**1/5**		**9**								
خورشیدی ماشین آلات راهسازی	DIN 8555 :E1-300	**0.1**	**3/2**	**0.5**	**0.7**										
	DIN 8555 :E1-300	**0.1**	**3/2**	**0.5**	**0.7**										

نوع ابزار	نوع و مشخصات الکترود	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	CO	W	V	Nb	Cu	T1	Fe	CU P S N	سختی HRC
اتصال فولاد زنگ نزن به فولاد معمولی	DIN 8556 : E8-200 CK2 AWS A5.4 : E312-16	0.05 0.1	17/5 29/5	0.3 0.7	6/5 1/5		9 9									
سنگ شکن فکی	AWS A5.13 : E Fe Mn-A DIN 8555 : E6-55	0.75 0.7	 10.5	 0.5	14 0.7		3/5									
ناخنک بیل مکانیکی (تحت سایش)	AWS E Fe Cr A1	4/5	33													
ناخنک بیل مکانیکی (تحت ضربه)	DIN 8555 : E6-55	0.7	10.5	0.5	0.7											
برنز قلع دار	AWS A5.6 : E CU SN-C				0.7										91 0.2 7/5	
کفشکهای دستگاههای راهسازی	AWS A5.1 : E 7018 AWS A5.4 : E 312-16	0.1 0.1	 29/5	0.5 0.7	1/3 1/5		 9									
رولرهای دستگاههای راهسازی	DIN 8557 : E1-300	0.1	3/2	0.5	0.7											
ناخنکهای کانال کن (ترنچر)	AWS A5.13 : E Fe Cr A1	4/5	33													
الکترود همه کاره	SWS A5.4 : E312 -16	0.1	29/5	0.7	1/5		9									
VALVE SEATS	AWS A5.13 : E Co Cr-A DIN 8555 : E5-45r	1 0.12	29 13	 0.5	 0.3				60	5						
مته حفر چال	AWS A5.13 : E Fe Cr A1 DIN 8555 : E6-55	4/5 0.7	33 10.5	 0.5	 0.7											