

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



چندنهای آلیاژی

چدنهای کروم دار

مطالعه اثر کروم بر روی چدن‌ها

کروم از قویترین عناصر کاربید زا می‌باشد، این عنصر تشکیل کار کربیدهای کمپلکس داده و تمایل به سفید شدن را زیاد کرده و در حین سرد شدن از گرافیت شده قسمتهای نازک جلوگیری کرده و مانع از تجزیه کربیدها میشود. همچنین کروم به تشکیل پرلیت لایه ای و سختتر کمک میکند.

نتیجه چنین ساختاری، افزایش مقاومت سایشی سرد و گرم، افزایش مقاومت به خزش، افزایش استحکام به خصوص در دماهای بالا و شرایطی که قطعه متناوباً سرد و گرم میشود، افزایش سختی و مقاومت به فرسایش و نیز افزایش مقاومت به اکسیداسیون در دماهای بالا می‌باشد.

در چدنهای خاکستری، افزودن کروم تا ۰.۸٪، افزایش استحکام را در پی داشته و در مقادیر بیش از این به دلیل تشکیل کاربید کروم آزاد، استحکام کاهش می‌ابد. کروم در مقادیر ۱ تا ۱.۵ درصد، مقاومت به نرم شدن و اکسیداسیون چدنهای غیرآلیاژی را زیاد میکند.

چدنهای کروم دار مقاوم به سایش

این خانواده از آلیاژهای مقاوم به سایش دارای ۱۱-۲۸٪ کروم و ۲.۳-۳.۶٪ سیلیسیم هستند. ساختمان میکروسکوپی این نوع چدن‌ها متشکل از کربید و زمینه می‌باشد. ساختار زمینه این چدن‌ها میتواند هر یک از ساختارهای فریت، مارتنزیت، آستنیت و یا ترکیبی از اینها باشد و کربیدهای موجود در چدنهای پرکروم عبارتند از: کربیدهای کمپلکس آهن و کروم به صورت فرمولی، سمنتیت و کربیدهای آزاد کروم.

بهترین زمینه ای که میتوان انتخاب کرد، مارتنزیت پر کربن و سختی است که سختی آن ناشی از کاربیدهای ثانویه پراکنده است. دومین انتخاب خوب زمینه، آستنیت ناپایدار کارسختی پذیر میباشد.

عیب زمینه آستنیتی در نرمتر بودن آن نسبت به مارتنزیت -حتی پس از کارسختی- و ناپایدار بودن آن است که ممکن است، تحت تنشهای مکانیکی و یا افزایش دما به مارتنزیت تبدیل شده و افزایش حجم را در پی داشته باشد، این افزایش حجم باعث ایجاد تنش و به تبع آن ترک و شکست در قطعه میشود.

مارتنزیت به همراه کاربیدهای ثانویه پخش شده در آن زمینه بسیار مناسبی است که مقاوت به سایش آن، بستگی به درصد کربن و کروم آلیاژ دارد؛ بهترین مقاومت به سایش مارتنزیت در مقادیر ۱۲-۲۲٪ کروم و کربن نزدیک به یوتکتیک ظاهر میشود.

میزان کروم و کربن بر اساس تشکیل کاربید M_7C_3 در حین انجماد تعیین میشود. اضافه



شدن کربن موجود، موجب افزایش حجم جزئی کاربید و مقاوت به سایش گشته لیکن چقرمگی و سختی پذیری را کاهش میدهد. میزان کربن بالا نیاز به کنترل دقیقی بر روی سرعت خنک کردن برای اجتناب از

شکل ۳۵.۱۱-چدن پر کرم مقاوم در برابر سایش .
دارای شبکه بین دندرنی کاربید آهن - کرم
وطبیعت دندرنی شکل مارتنزیت .
محلول اچ نایتال ۳ درصد
بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

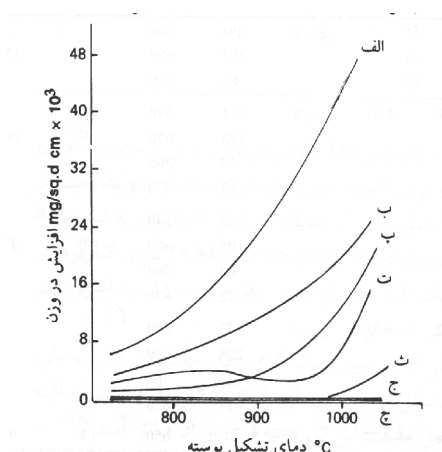
ترک خوردگی دارد. در صورت کاهش کروم به زیر ۱۲٪، کاربید کروم به صورت M_3C که مقاوت به سایش کمتری دارد و مقداری کاربید یوتکتیکی که

بیشتر به صورت سمیتیت است تشکیل شده و کاهش محسوس چقرمگی و مقاوت به سایش به وجود می آید. درحالتی که مقدار کروم به بیش از ۲۲٪ افزایش یابد، قسمت اعظم کربن به صورت کاربید کروم درآمده و زمینه مارتنزیت کم کربن حاصل میشود و نتیجتاً مقاوت سایشی کاهش خواهد یافت.

مزیت افزایش مقدار کروم به مقدار زیاد، افزایش مقاومت به خوردگی و مقاومت زیاد به پوسته شدن در دماهای بالا و سختی پذیری زیاد است.

چدنهای کروم دار مقاوم به حرارت

چدنهای سفید با کروم زیاد دارای مقاومت عالی به رشد و اکسیداسیون در دمای بالا بوده و از



چدنهای مختلف نسبت به دما برای مدت ۲۰۰ ساعت در هوا
الف) ۱%Ni + ۱%Cr
ب) ۱۷%Cr
ج) ۱۷%Cr

نظر قیمت نیز از فولادها زنگ نزن ارزاترین. این آلیاژها در مواردی که قطعه تحت بارهای اعمالی زیاد و ضربه نباشد، مصرف میشوند. این چدنهای در سه طبقه زیر دسته بندی میشوند:

۱- چدنهای مارتنزیتی با ۱۲-۲۸٪ کروم.

۲- چدنهای فریتی با ۳۰-۳۴٪ کروم.

۳- چدنهای آستنیتی با ۱۵-۳۰٪ کروم و ۱۰-۱۵٪ نیکل

برای پایداری آستنیت در دمای پایین.

تأثیر مفید کروم بر مقاومت در برابر پوسته شدن چدنهای

در شکل ۲۴.۱ دیده میشود.

آلیاژهای فوق در لوله های رکوپراتور، میله سینی و جعبه کوره های زیتتر، سبدهای عملیات

حرارتی و سایر کاربردهای این چینی مصرف میشوند.

چدنهای کروم دار مقاوم به خوردگی

چدنهای کروم دار با مقادیر ۲۰-۳۵٪ کروم به عنوان چدنهای مقاوم به خوردگی در شرایط

اتمسفری شناخته شده اند. در این حالت کروم باید به مقدار کافی وجود داشته باشد تا علاوه بر

ترکیب شدن با کربن و تشکیل کاربید کروم، مقداری هم در فریت حل شود، چرا که مقاومت به

خوردگی این آلیاژها به مقدار کروم محلول در فریت وابسته است.

چدنهای پر کروم در برابر اسیدهای اکسیدکننده مقاومت خوبی دارند، اما در برابر اسیدهای

احیاکننده مقاوم نیستند. این چدنهای در برابر اسید نیتریک، مقاومت استثنایی داشته و در تمام غلظتهای

بالای ۹۵٪ در دمای محیط و در تمام دماها برای غلظت ۷۰٪ مقاومت نشان میدهند. این حالت با ایجاد لایه غیر فعال اکسید کروم حاصل میشود.

چدنهای با کروم زیاد (در حدود ۳۵-۳۰٪) برای مقاومت در شرایط خوردندگی اسیدها کاربرد دارند، این چدن‌ها مقاومت عالی در برابر همه غلظت‌های اسیدهای سولفوریک تا دمای ۸۰°C داشته و تا دمای جوش این اسیدها با غلظت ۶۰٪ مقاومت دارند. به علاوه در برابر آب دریا و آب‌های معدنی دارای محلول‌های اسیدی مقاومت دارند.

چدنهای مقاوم به خوردندگی کروم دار نسبت به نوع سیلیسی، دارای مزایای خواص مکانیکی و سهولت عملیات حرارتی بوده و در شرایطی که خواص فوق مد نظر باشند کاربرد دارند. کاربردهای مهم چدنهای کروم دار مقاوم به خوردندگی عبارتند از استفاده در: دیگ‌های آنیلینگ سرب، روی، و آلومینیوم، مصرف در محیط‌های اسیدی ضعیف اکسیداسیون و محلول‌های نمک و اسید آلی.

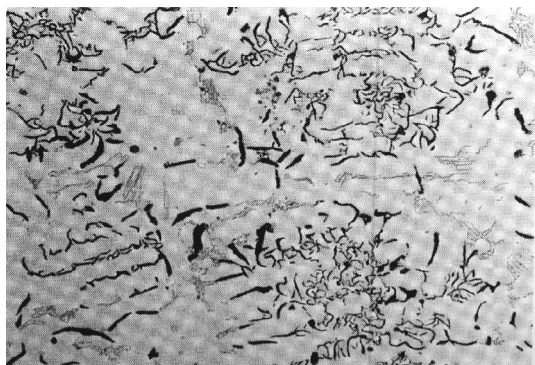
چدنهای نیکل دار

اثر نیکل بر روی چدن‌ها

نیکل معمولترین عنصر آلیاژی است که در چدن‌ها مصرف میشود، این عنصر هیچگونه تأثیر نا مطلوبی بر چدن‌ها ندارد. به گرافیت شدن کمک میکند ولی تأثیر آن فقط به اندازه نصف سیلیسیم است و به علاوه باعث پراکندگی گرافیت در یک حالت بسیار ریز میشود. این عنصر پایداری کاربیدهای اولیه را کاسته و باعث ریز شدن و پایداری پرلیت میشود، این امر با وجود مقدار کمی سیلیسیم بهتر صورت گرفته و حتی منجر به ایجاد ساختار مارتنزیتی میشود، همچنین نیکل باعث ریز دانگی چدن‌ها میشود. به این ترتیب نیکل استحکام چدن را بطور یکنواخت و متصاعدی افزایش میدهد.

نیکل وزن مخصوص چدن را زیاد کرده و از میزان تخلخل آن به نحو قابل توجهی میکاهد و به همراه عناصری نظیر کروم برای بدست آوردن یکنواختی ریخته گری قطعات با ضخامت متغیر کاربرد وسیعی دارد.

چدنهای نیکل دار



مهمترین خانواده چدنهای آلیاژی نیکل دار، چدنهای نیکل مقاوم یا Ni-resist میباشند، این آلیاژها ترکیبی از دو ویژگی مقاومت به حرارت و مقاومت به خوردگی را دارا بوده و خواص مکانیکی مطلوبی دارند.

شکل ۶.۳۹ - ساختار چدن آستنیتی Ni-سخت .
دارای آستنیت اولیه به شکل دندرنیتی
باکاربیدوگرافیت های ورقهای بین دندرنیتی.
محلول اچ کلرید فریک الک

جدول ۱.۱۵ خلاصه‌ای از مشخصه USA برای چدن‌های گرافیت لایه‌ای و کروی پرالیازی

چدن‌های لایه‌ای									
مشخصه	گرید	C کل	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P
ASTM A436-78	1	3.0	1.0	0.5	13.5	1.5	5.5	0.12	Maximum
	1b	3.0	2.0	0.5	13.5	2.5	7.5	0.12	Maximum
	2	3.0	2.0	0.5	17.5	3.5	7.5	0.12	Maximum
	2b	3.0	2.0	0.5	18.0	1.5	0.5	0.12	Maximum
	3	2.0	2.0	0.5	23.0	3.5	0.5	0.12	Maximum
	4	2.0	5.0	0.5	29.0	4.5	0.5	0.12	Maximum
	5	2.4	2.0	1.5	36.0	0.1	0.5	0.12	Maximum
	6	3.0	1.5	0.5	18.0	1.0	3.5	0.12	Maximum
		0.7	14.2	1.5	22.0	2.0	5.5	0.12	Maximum
		1.1	14.75	1.5	0.5	0.5	0.5	0.12	Maximum
									Mo
									Mo
A518-80									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
									Mo
کاربردها									
راهنمای شیرفلکه، قالب‌حشر، کش									
پمپ‌ها و دریچه‌های سد									
شیرهای فلکه‌مورد مصرف در آب دریا									
بدنه‌های پمپ‌ها									
پره پمپ‌ها، بدنه پمپ‌ها،									
شیر فلکه‌های تویی									
بدنه پمپ مواد سوددار									
شیر فلکه‌ها									
بدنه توربوشارژرها									
بالای متقل‌ها، پمپ‌های مواد سوددار									
رویه فر خوراک‌پزی									
غلتک‌های شیشه و قالب‌ها									
ابزارهای ماشین‌ها، گنج‌ها									
شیر فلکه‌ها									
پمپ‌ها و لوله‌ها برای									
مایعات خوردنده									
Tensile strength N mm ⁻² minimum									
B.H.									
Impact J 30 mm unnotched									
Expansion Per°C × 10 ⁶									
Thermal conductivity W m ⁻¹ k ⁻¹									
A436-78	1	172	131-183	136	19.3	41			
	1b	206	149-212	108	19.3	41			
	2	172	118-174	136	18.7	41			
	2b	206	171-248	81	18.7	41			
	3	172	118-159	203	12.4	40.2			
	4	172	149-212	108	14.6	38.8			
	5	206	99-124	203	5.0	40.2			
	6	138	124-174						
کاربردها									
ASTM A439-80	D2	3.0	1.5	0.7	18.0	1.75	2.27	0.12	Maximum
	D2-B	3.0	1.5	0.7	18.0	2.75	4.0	0.12	Maximum
	D2-C	3.0	1.0	1.0	21.0	4.0	0.12	Maximum	Minimum
	D3	2.9	3.0	2.4	0.08	24.0	0.50	0.12	Maximum
	D3-A	2.6	2.0	1.0	0.08	32.0	3.5	0.12	Maximum
	D4	2.6	2.8	1.0	0.08	32.0	1.5	0.12	Maximum
	D5	2.6	5.0	1.0	0.08	32.0	4.5	0.12	Maximum
	D5	2.6	6.0	1.0	0.08	32.0	5.5	0.12	Maximum
	D5	2.4	1.0	1.0	0.08	34.0	0.12	Maximum	Minimum
	D5	2.4	2.8	1.0	0.08	36.0	0.1	0.12	Maximum
	D5-5	1.7	4.9	0.4	0.08	36.0	3.0	0.12	Maximum
	D5-5	2.0	5.4	0.7	0.08	36.0	1.8	0.12	Maximum
A571-71	D2-M	2.2	1.5	3.75	21.0	0.2	0.2	0.12	Maximum
		2.7	2.5	4.5	0.08	24.0	0.2	0.12	Maximum
	US MIL +	2.4	1.8	0.8	18.0	1.7	0.2	0.12	Maximum
	24137	3.0	3.2	1.5	0.20	22.0	2.4	0.12	Maximum
کاربردها									
قطعات تحت فشار که زمینه تا									
۲۳۰°C پایدار است.									
استفاده در قایق و پروانه‌های کشتی، مقاوم									
به حرارت، خوردگی، شوک و									
غیرمغناطیسی									

دنباله جدول، ۱.۱۵

		مقاومت به کشش (حداقل)	سختی (برنیل)	درصد اضافه طول	ضربه (ژول)
ASTM	D2	400	139-202	8	16.3
A439-80	D2-B	400	148-211	7	13.6
	D2-C	400	121-171	20	40.0
	D3	380	139-202	6	9.5
	D3A	380	131-193	10	19.0
	D4	414	202-273	—	—
	D5	380	131-185	20	23.0
	D5-F	380	139-193	6	8.1
	D2-M	440	121-171	30	—

ساختار زمینه چدنهای Ni-resist، آستنیتی بوده و دارای گرافیت در ساختار هستند. شکل گرافیت آنها یکی از دو نوع لایه ای یا کروی \bar{O} با توجه به نوع و مقدار عناصر متشکله - می باشد. ترکیب شیمیایی خانواده چدنهای نیکل مقاوم در جدول ۱.۱۵ دیده میشود. در این جدول مشاهده میشود که مقدار نیکل آلیاژ، حداقل ۱۳.۵٪ و حداکثر ۳۶٪ است. آلیاژهای این جدول دارای مشخصات زیر میباشند:

چدن نیکل مقاوم شماره ۱، گرافیت کروی نیست زیرا مس زیاد موجود در آن که با نیکل برای مقاومت به خوردگی مکمل گشته، در کروی کردن گرافیت خلل ایجاد میکند. کاربرد زیاد این آلیاژ در رینگهای پیستون است. زیرا ضریب انبساط آن نزدیک به ضریب انبساط آلیاژ آلومینیوم پیستون است. این آلیاژ نسبت به آلیاژهای آلومینیوم از مقاومت به سایش و ضربه بسیار بهتری در دمای بالا سود میبرد. چدن نیکل مقاوم شماره ۲، آلیاژی است که غالباً در محیطهای خوردنده و برای مقاومت به اکسیداسیون تا $C\{700$ به کار برده میشود. چدن نیکل مقاوم شماره ۳، مقاوم به شوک حرارتی و خوردگی در بخار مرطوب و محیطهای گل و لای خوردنده است. شماره ۴ از سیلیسیم و کرم بالاتری بر خوردار بوده و با قدرتی مافوق، مقاوم در برابر فرسایش، خوردگی و اکسیداسیون اتمسفری است. شماره ۵ از حداقل انبساط حرارتی برخوردار بوده و پایداری خوبی از نظر ابعادی دارد، و مقاومت به شوک عالی تا دمای $C\{340$ دارد. سیلیسیم و کروم موجود در آن به تناسب کاربرد آن تنظیم میشود.

یکی از عناصر مهم و موثر در چدنهای نیکل مقاوم، سیلیسیم است. این عنصر باید در محدوده معینی، حداکثر مقدار مجاز باشد؛ تأثیر آن گرافیت زایی و جلوگیری از تشکیل کاربیدهای اولیه است. کاربید باعث ایجاد خلل و فرج در آلیاژهای نیکل مقاوم شده و انقباضهای بین دندریتی را به وجود می آورد، این عوامل، کاهش مقاومت به خوردگی آلیاژ را موجب میشوند.

چدنهای نیکل-سخت

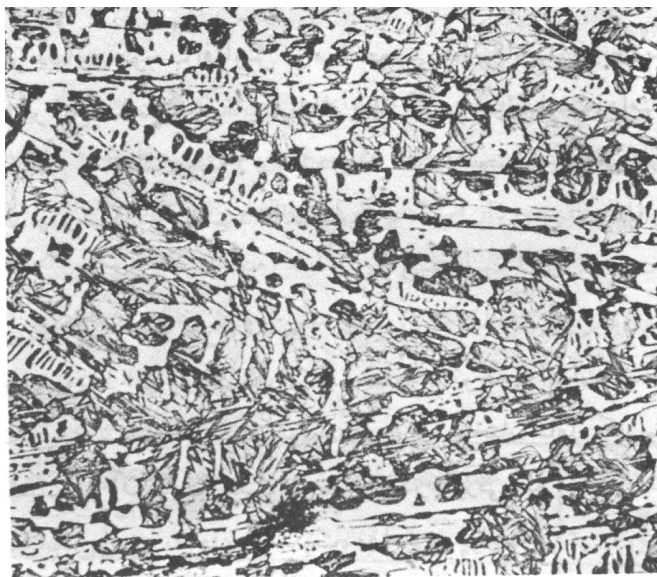
چدنهای نیکل - سخت بوفور در عملیات خرد کردن، پودر کردن، نورد کردن و حمل مواد بکار برده می‌شوند. دو گروه عمده چدن نیکل - سخت وجود دارند، چدنهای با ۴% نیکل و چدنهای با ۶% نیکل و ۹% کرم که معمولاً به نیکل - سخت ۲ و ۴ موسوم‌اند. نوع ۲ چدن نیکل - سخت شامل کاربیدهای یوتکتیکی $M_{23}C_6$ لدبوریتی است و بنابراین دارای چقرمگی کمی است، در صورتی که نوع ۴ چدن نیکل - سخت عمدتاً شامل کاربیدهای ناپیوسته $M_{23}C_6$ است و در نتیجه چقرمگی نیکل - سخت ۴ بیشتر است. چون چدن نیکل - سخت ۲ چقرمگی کمتری دارد، عمدتاً در تولید غلطکهای فلز کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

متالورژی و کاربرد چدنهای نیکل - سخت ۴ تقریباً مشابه چدنهای پرکرم است. اما مشاهده شده است که در کاربردهای خاصی مانند گلوله‌های آسیاب و جدار پوسته آسیابهای سیمان با قطر زیاد که قطعات ریختگی در آن هم تحت سایش و هم ضربات مکرر سنگین قرار دارند، نیکل - سخت ۴ مقاومت لارم برای شکست را ایجاد نمی‌کند، بطور کلی مقاومت شکست چدنهای پرکرم بیش از چدنهای نیکل - سخت ۴ است. مشخصه‌ای که سبب ارجحیت بارز چدنهای نوع نیکل - سخت ۴ در مقایسه با چدنهای پرکرم می‌شود، قابلیت سختی پذیری عالی آن است.

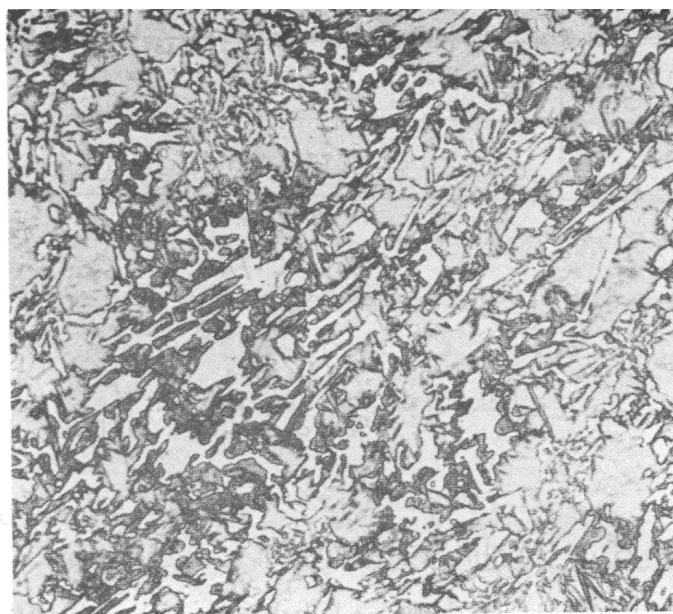
فازهای کاربیدی در چدنهای نیکل-سخت

ترکیب شیمیایی تمام چدنهای نیکل - سخت طوری انتخاب می‌شود که بیشتر ساختار بصورت کاربید یوتکتیک و آستنیت جامد شود. مقدار کاربید یوتکتیک که تشکیل می‌شود و نیز ساختار زمینه به ترکیب شیمیایی چدن بستگی دارند.

تفاوت بین ساختار کاربیدی در انواع ۲ و ۴ چدنهای نیکل - سخت در شکل ۷۲ و ۷۳ نشان داده شده است. چدن نیکل - سخت نوع ۲ دارای ساختار لدبوریتی خاصی است که در آن کاربید $M_{23}C_6$ در برابر ریزساختار پیوسته، حضور دارد. ساختار کاربیدی علاوه بر اینکه محل مساعدی برای شروع ترک است، مسیر بهتری برای اشاعه ترک نیز هست. برعکس چدن نوع نیکل - سخت ۴ دارای ساختار یوتکتیکی است که در آن کاربیدهای نوع $M_{23}C_6$ بطور ناپیوسته حضور دارند. مزیت این نوع ساختار کاربیدی این است که گرچه کاربید $M_{23}C_6$ به اندازه $M_{23}C_6$ ترد است، ولی ترکهایی که در آن ایجاد می‌شوند قبل از اینکه وارد زمینه بمراتب



شکل ۷۲- ساختار کاربید در چدن نیکل - سخت نوع ۲. (مقیاس ۱۰۰ میکرون)



شکل ۷۳- ساختار کاربید در چدن نیکل - سخت نوع ۴. (مقیاس ۱۰۰ میکرون)

نرمتری شوند نمی توانند خیلی اشاعه پیدا کنند. و به این دلیل چدن نیکل - سخت ۴ مقاومت بوضوح بیشتری به شکست دارند تا نوع چدن نیکل - سخت ۲.

تمام عناصر آلیاژی موجب افزایش درصد حجمی فاز کاربید در چدنهای نیکل - سخت می شوند. اما، تأثیر این عناصر در مقایسه با اثر خود کربن جزئی است. دامنه حجمی کاربید در نوع ۴ چدنهای نیکل - سخت بین ۲۲ و ۳۶ درصد است. سختی و کمیت فاز کاربید بطور مؤثر در سختی کلی چدنهای نیکل - سخت دخالت دارد.

ترکیب شیمیایی نیکل سخت نوع ۴

ساختار زمینه توسط آلیاژی کردن صحیح قطعه با توجه به اندازه آن کنترل می شود. این چدن‌ها در حالت ریخته شده فاقد گرافیت بوده و دارای ساختار شامل کاربیدهای یوتکتیکی با زمینه‌ای که آستنیت در آن غالب است، می باشند. در صورتی که عناصر آلیاژی بمقدار کافی موجود نباشند، ممکن است به جای آستنیت، مقادیری پرلیت نرمتر یا گرافیت بوجود آیند. انجام عملیات فوق آلیاژی کردن سبب ایجاد مقادیر زیادی آستنیت باقیمانده بعد از عملیات حرارتی می شود. بمنظور ایجاد حداکثر سختی و مقاومت به سایش عملیات حرارتی انجام می شود تا زمینه‌ای با ساختار مارتنزیتی فاقد آستنیت باقیمانده ایجاد شود. بهترین ترکیب شیمیایی به ابعاد قطعه ریختگی و خواص مورد نیاز بستگی داشته و معمولاً در دامنه زیر قرار دارد:

کربن	۲/۶-۳/۳%
سیلیسیم	۱/۵-۲%
منگنز	۰/۶-۰/۸%
کرم	۸-۹%
نیکل	۴/۸-۵/۵%
مولیبدن	۰/۵-۱/-%

با در نظر گرفتن این مطلب که:

$\text{Cr } 0.3\% + \text{Si } 1\%$ از ۱/۴ بزرگتر است،

مطمئناً توسط این ترکیب به جای کاربیدهای لدبوریتی، کاربیدهای ناپیوسته تشکیل

اثر عناصر آلیاژی

کربن:

سختی بمقدار زیاد توسط مقدار کاربیدهای موجود، که خود به مقدار کربن بستگی دارد، کنترل می شود. در کاربردهایی که حداکثر سختی ضرورت داشته و مقاومت به بارگذاری ضربه ای از اهمیت ثانوی برخوردار است از کربن بمقدار ۳/۳٪ می توان استفاده کرد ولی در جایی که ضربات تکراری اعمال می شود باید مقدار کربن در دامنه ای بین ۲/۶ تا ۲/۹٪ باشد. جدول زیر اثر مقدار کربن را بر عمر خستگی ناشی از ضربه در چدنهای نیکل - سخت نوع ۴ نشان میدهد.

مقدار کربن %	عملیات حرارتی	عمر خستگی - ضربه ای (تعداد ضربات)
۳/۴۸	۸ ساعت - ۸۰۰°C سرد شدن در هوا	۶۸۴
۳/۰۱	« »	۱۶۷۰
۲/۹۰	« »	۳۷۲۸
۲/۶۰	« »	۴۵۹۰

چقرمگی تحت ضربات تکراری (عمر خستگی ضربه ای) برحسب تعداد ضربات لازم برای شروع شکست در یک گلوله چدنی نیکل سخت به قطر ۶۰^{mm} که مکرراً از ارتفاع ۷^m بر روی یک سندان فولادی شیب دار می افتد، ارزیابی شده است.

سیلیسیم

سیلیسیم اثر مهمی بر کاربید یوتکتیک دارد. سیلیسیم موجب پایداری کاربید M_7C_3 شده و بنابراین مقدار کرم مورد نیاز برای ایجاد ساختار کاربیدی ناپیوسته را کاهش می دهد. اما، وجود سیلیسیم همراه با آهنگ سرد شدن آهسته وجود کربن بمقدار زیاد، موجب

تشکیل گرافیت آزاد می‌شود. بطور کلی مقدار سیلیسیم در قطعات ضخیم‌تر کمتر، و در قطعات نازک‌تر بیشتر نگهداشته می‌شود. همچنین سیلیسیم به تسریع تبدیل مارتنزیتی کمک می‌کند.

نیکل

نیکل دربالا بردن قابلیت سختی پذیری ضروری است، از تشکیل پرلیت جلوگیری کرده و بعد از عملیات حرارتی سبب ایجاد ساختار کاملاً مارتنزیتی می‌شود و مقدار مورد نیاز آن به آهنگ سرد شدن و ضخامت ریختگی بستگی دارد. برای مقاطع به ضخامت تا 50^{mm} دامنه مقدار نیکل از $4/4$ الی $4/8$ درصد است، در صورتی که مقدار نیکل قطعات ضخیم‌تر بین 5 الی 6 درصد قرار دارد. نیکل بیش از حد ممکن است سبب ایجاد آستنیت باقیمانده بعد از عملیات حرارتی و ورقه ورقه شدن سطح در حین کار شود.

کرم

کرم بمنظور منحرف کردن تمایل به گرافیت‌زائی توسط عناصری چون سیلیسیم و نیکل، و تشکیل کاربیدهای سخت و پایدار افزوده می‌شود. کرم همچنین به پیشرفت تشکیل مارتنزیت کمک می‌کند. وجود مقدار کرم بیش از حد طوری که سبب تشکیل کاربید کرم بسیار نرم‌تر $M_{23}C_6$ شود، ضرورت ندارد.

مولیبدن

مولیبدن دارای اثر ایجاد تأخیر در تشکیل پرلیت بوده و قابلیت سختی پذیری را به شدت زیاد می‌کند. وجود مقادیر بیشتر مولیبدن، استفاده از مقادیر بیشتری کربن را مجاز میکند. چون حلالیت مولیبدن در $M_{73}C_{23}$ محدود است، اثر مولیبدن بر سختی حداقل است.

گوگرد

چنانچه گوگرد توسط منگنز خنثی نشده باشد موجب پایداری کاربیدها می‌شود ولی در مواردی که مقاومت به شوک مهم باشد مقدار گوگرد متناسب با مواد خام مصرفی و نحوه عمل ذوب تا حد امکان پایین نگهداشته می‌شود.

منابع و مأخذ:

۱- کتاب تکنولوژی چدن- تألیف روی الیوت و ترجمه
مهندس علیرضا علیپور- انتشارات دانشگاه صنعتی سهند

۲- کتاب اصول عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها- تألیف
دکتر محمد علی گل‌عذار- انتشارات دانشگاه صنعتی
اصفهان