

مقایسه استانداردهای مربوط به خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی فولاد آلیاژی مورد استفاده در چرخ‌های وسائل حمل و نقل ریلی

حسین محمدطاهری^۱، جواد زارع^۲، شریف قریب^۳

۱ کارشناس ارشد، دفتر مهندسی و نظارت ناوگان راه آهن جمهوری اسلامی ایران، تهران، Taheri_ho@rai.ir

۲ دانشجوی دکتری، دفتر مهندسی و نظارت ناوگان راه آهن جمهوری اسلامی ایران، تهران

۳ کارشناس ارشد، دفتر مهندسی و نظارت ناوگان راه آهن جمهوری اسلامی ایران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

چکیده

تطبیق‌پذیری الزامات تولید چرخ‌های مورد استفاده در صنعت ریلی با موارد مطرح‌شده در استانداردهای مربوطه سبب کنترل روند خرابی و آسیب‌دیدگی، افزایش ایمنی سیر وسائل نقلیه و کاهش هزینه‌های مربوطه خواهد شد. به دلیل تعدد کشورهای تأمین‌کننده چرخ در ایران، ضرورت بررسی استانداردهای مختلف و آگاهی از نقاط تمایز و اشتراک در بیان الزامات تولید امری ضروری می‌نماید. در پژوهش حاضر، استانداردهای مورد استفاده در زمینه چرخ‌آلات ناقله ریلی (EN-13262، UIC812-3 و GOST-10791) بررسی و نقاط تمایز و اشتراک در مورد الزامات تولید بیان و مورد بحث قرار گرفته است. مقایسه استانداردهای مختلف از دیدگاه خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی، علامت‌گذاری، انبار و ارسال بار و شرایط گارانتی انجام می‌گیرد. مشاهده می‌شود که استاندارد EN-13262 جهت بهبود خواص چرخ از عناصر حساس و تأثیرگذار در گستره مطلوب‌تری استفاده کرده است. همچنین، از دیدگاه خواص فیزیکی و مکانیکی در استاندارد GOST-10791 به برخی خواص از جمله چقرمگی شکست و سختی جان چرخ اشاره‌ای نشده است. به‌عنوان دیدگاهی کلی می‌توان بیان کرد که با توجه به چرخ‌های مورد استفاده در ناوگان ریلی و همچنین خواص ریل مورد استفاده، استاندارد EN-13262 نسبت به سایر استانداردها از مقبولیت بالاتری برخوردار است.

واژگان کلیدی

چرخ‌آلات ناقله ریلی، استاندارد EN-13262، فیش UIC-812-3، استاندارد GOST-10791

۱. مقدمه

نتیجه‌گیری و استفاده در آینده دانست. به بیان دقیق‌تر، استاندارد متنی حاوی کمیته ویژگی‌های مورد انتظار از یک محصول و

در سالیان اخیر، تعاریف متفاوتی برای استاندارد ارائه شده است، اما به‌طور کل می‌توان استاندارد را آزمایش‌ها و مطالعات گذشته برای

حداقل الزامات مربوط به فرایند ساخت یک محصول یا ارائه یک خدمت می‌باشد. در واقع، هنگام دریافت محصول یا خدمتی خاص، استاندارد مورد استفاده باید ذکر شود و مورد توافق قرار بگیرد. استانداردهای مختلف به دلیل نوع ویژه نگارش خود قابلیت استفاده در مراجع قضایی برای حل اختلافات را نیز دارند. با استفاده از استانداردها در فرایندهای مختلف می‌توان از نوسان‌پذیری کیفیت فعالیت‌ها بر اثر تغییرات شرایط پیشگیری کرد. در کلی‌ترین دسته‌بندی می‌توان استانداردها را از منظر کاربرد و دامنه کاربرد به چهار دسته استانداردهای کارخانه‌ای، ملی، منطقه‌ای و جهانی تقسیم‌بندی کرد [۶].

استانداردهای کارخانه‌ای که از لحاظ محدوده کاربرد در سطح یک سازمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند معیارهایی سختگیرانه‌تر از سایر استانداردها داشته باشند یا بالعکس. استانداردهای ملی معمولاً وابسته به نظر مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، شرایط اقتصادی و امکانات و دانش فنی یک جامعه تهیه می‌گردند. مثلاً در کشور ایران، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران متولی استانداردهای ملی است. با اینکه در گذشته کشورهای مختلف به دلایل متفاوتی از جمله رقابت و پیشگیری از واردات بی‌رویه کالاها از استانداردهای مختلفی استفاده می‌کردند، اما در سال‌های اخیر و با توجه به جهانی‌شدن اقتصاد و یکپارچه‌شدن بازارها، کشورهایی که دارای وجه مشترک جغرافیایی می‌باشند، به تدوین استانداردهای مشترک و استفاده از آنها در مبادلات خود روی آورده‌اند؛ که با عنوان استانداردهای منطقه‌ای شناخته می‌شوند. به عنوان مثالی از این دسته استانداردها می‌توان به استاندارد DIN در آلمان، NORSKA در نروژ، GOST در روسیه و AFNOR در فرانسه اشاره کرد. استانداردهای جهانی نیز همان‌طور که از نام آنها برمی‌آید، مربوط به تمامی کشورها می‌باشند که توسط مراجع صلاحیت‌دار تهیه و تدوین می‌شوند. از جمله مؤسسات جهانی تدوین استاندارد می‌توان نرم اروپا (EN)، سازمان جهانی استاندارد (ISO)، اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) را نام برد. استانداردهای UIC^۱، EN و GOST و AAR^۲ را می‌توان از جمله معتبرترین استانداردهای مورد استفاده در زمینه ریلی دانست.

اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) در سال ۱۹۹۲ م با هدف یکنواخت‌نمودن مقررات و شرایط بهره‌برداری از راه‌آهن تأسیس شد [۳-۲]. مقر این اتحادیه، که به‌عنوان تنها سازمان تجاری که

در سطح جهانی به نیازهای حمل‌ونقل ریلی می‌پردازد و برای همکاری‌های بین‌المللی میان شرکت‌های راه‌آهن اعم از دولتی و غیردولتی به‌وجود آمده است، در کشور فرانسه می‌باشد. باید خاطر نشان کرد که این اتحادیه بزرگترین سازمان همکاری بین‌المللی راه‌آهن است.

استاندارد EN بیانگر انطباق محصول با قوانین و مشخصات تعریف‌شده در اتحادیه اروپا و مجوز ورود محصول به بازارهای اروپایی است [۴]. اگرچه این استاندارد مربوط به حوزه اروپاست، اما در بسیاری از کشورها از جمله ایران به‌عنوان شرط پذیرش محصول قابل قبول است. اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها در بسیاری از بخش‌های خود از این استاندارد به‌عنوان نسخه بروزسانی شده فیش‌های UIC استفاده کرده است.

استاندارد GOST در ابتدا توسط اتحاد جماهیر شوروی تهیه و تدوین شد [۵]. اولین استاندارد GOST با نام GOST 1 سیستم استاندارد امور خارجه، در سال ۱۹۶۸ م منتشر شد. در سال ۱۹۹۲ م، مؤسسه استاندارد و کمیته ملی گمرک روسیه اقدام به تهیه فهرستی از کالاهایی نمودند که نیاز به اخذ تأییدیه استاندارد GOST داشتند. سپس طبق قانون فدرال از پایان سال ۲۰۰۲ م تعریف استاندارد GOST تغییر نمود و مقررات دقیقی به‌طور مداوم و از نظر فنی بروزسانی گردید. ایران و کشورهای آسیای میانه در راستای ایجاد منطقه تجاری واحد و کنترل فروش و گردش آزاد کالاها در این حوزه اقدام به هماهنگ‌نمودن استانداردهای ملی و منطقه‌ای خود نمودند و بر مبنای الزامات استانداردهای هماهنگ‌شده استانداردها را مشخص و تدوین کردند. این استانداردهای منطقه‌ای تحت نظارت کشورهای مستقل مشترک‌المنافع CIS می‌باشد.

همانگونه که بیان شد، بی‌تردید استفاده از خدمات و محصولات مختلف نیازمند دارا بودن استانداردهای مربوطه است. در زمینه صنعت ریلی نیز استفاده از محصولات مختلف نیازمند تأیید این محصولات بر مبنای استانداردهای تخصصی مربوطه است. از جمله این اجزاء، چرخ‌های استفاده‌شده در صنعت ریلی است که علاوه بر هزینه، از لحاظ امنیت نیز بسیار پراهمیت بوده و لازم است دقت کافی در بررسی و تأیید آن پیش از صدور مجوز استفاده به‌عمل آید. در واقع می‌توان رعایت الزامات استانداردهای مختلف در مورد چرخ را از جمله عوامل کنترل روند خرابی و آسیب‌دیدگی آن دانست و با توجه به اینکه کشور ایران نیز از این

مقوله مستثنا نیست، همچنین به دلیل تأمین چرخ‌های مورد استفاده از کشورهای مختلف، ضرورت بررسی و مطالعه استانداردهای مختلف و تعیین نقاط اشتراک و تضاد این استانداردها و تعیین استاندارد مطلوب در استفاده از یک محصول ضروری است. در همین راستا، در پژوهش حاضر، استانداردهای مورد استفاده در زمینه بررسی چرخ‌آلات ناقله ریلی (استانداردهای UIC-812-3، EN-13262 و GOST-10791) راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران مورد بررسی قرار گرفته است و معیارهای مورد استفاده جهت بررسی شرایط آزمایش و محدوده‌های تعیین شده توسط هر یک مشخص شده‌اند. نقاط اشتراک و تضاد مورد بحث قرار گرفته و توضیحات مفصلی در مورد برتری هر یک نسبت به دیگری ارائه شده است.

۲. نقاط اشتراک و تضاد استانداردهای مورد استفاده
با توجه به اهمیت و اثرگذاری مستقیم عناصر تشکیل‌دهنده فولادهای استفاده‌شده در ساخت چرخ بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن، در نخستین گام به مقایسه کسر جرمی عناصر موجود در فولاد چرخ و بیان اهمیت و میزان تأثیر هر یک پرداخته شده است. کسر جرمی عناصر موجود در فولاد چرخ به صورت تفصیلی در هر سه استاندارد مد نظر در جدول ۱ ارائه شده است. از میان عناصر مورد استفاده، تعدادی از آنها از جمله کربن، فسفر، گوگرد و وانادیم دارای اثرگذاری بالاتری بوده و تغییر میزان آنها با تغییر قابل توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی چرخ همراه خواهد بود. به همین دلیل در ادامه به بررسی میزان عناصر تأثیرگذار در چرخ پرداخته خواهد شد.

جدول ۱. مقایسه کسر جرمی عناصر موجود در چرخ مطابق با استانداردهای EN-13262، GOST-10791 و UIC-812-3 [۳-۵]

UIC-812-3	GOST-10791- G2	EN-13262 -R7T	نوع فولاد ^۳	نسبت کسر جرمی عناصر تشکیل‌دهنده (درصد)
0.52	0.55-0.65	0.52	کربن	
0.4	0.22-0.45	0.4	سیلیسیوم	
0.8	0.5-0.9	0.8	منگنز	
0.035	0.035	0.02	فسفر	
0.035	0.03	0.015	گوگرد	
0.3	0.3	0.3	کروم	
0.3	0.3	0.3	مس	
0.08	0.08	0.08	مولیبدن	
0.3	0.3	0.3	نیکل	
0.05	0.1	0.06	وانادیم	
0.5	-	0.5	Cr+, Ni+, Mo+	
-	کسر جرمی گوگرد در مقاطع ریخته‌گری شده $\geq 0.02\%$ و کسر جرمی هیدروژن در فولاد و کیوم شده $\geq 0.0002\%$	-	توضیحات	

۲-۱ بررسی خواص شیمیایی

۲-۱-۱ کربن

افزایش میزان درصد کربن عمدتاً با افزایش سختی و کاهش چقرمگی^۴ همراه خواهد بود. فولادهای با مقدار درصد کربن متوسط (۰/۲۵ تا ۰/۶ درصد) عموماً به‌عنوان فولادهای دارای قابل عملیات حرارتی به‌کار می‌روند. این‌گونه فولادها برحسب نوع عملیات حرارتی می‌توانند استحکام متوسط یا بالا توأم با چقرمگی خوب از خود نشان دهند. از سوی دیگر فولادهای با درصد کربن

بالاتر (۰/۶ تا ۱/۳ درصد) پس از عملیات حرارتی ویژه‌ای می‌توانند مقاومت سایشی و سختی بسیار بالایی دارا باشند [۶]. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، این مقدار در استاندارد EN-13262 و فیش UIC-812-3 دارای مقدار یکسان ۰/۵۲ درصد است، در حالی که کسر جرمی استفاده شده در استاندارد GOST-10791 در بازه ۰/۵۵ تا ۰/۶۵ درصد قرار دارد. به بیان دیگر، فولادهای مورد استفاده در استاندارد EN-13262 و فیش UIC-812-3 از نوع فولادهای با مقدار درصد کربن متوسط و فولادهای مورد استفاده

است و لذا اثر مطلوبی در خواص فیزیکی و مکانیکی چرخ‌های ساخته شده مطابق با این استاندارد دارد.

۲-۲. بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی

در ادامه، مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی فولاد آلیاژی براساس استانداردهای موجود، در جدول ۲ ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که در مورد خواص مکانیکی قسمت جان چرخ^۵ در استاندارد GOST-10791 بیشتر به صورت کیفی بحث شده (اختلاف بین سختی جان و سختی متوسط در عمق ۳۰ میلی‌متر نباید کمتر از ۱۵ واحد باشد و استحکام تسلیم نباید از ۸۰ درصد مقدار استحکام نهایی لبه^۶ بیشتر باشد)، اما در استاندارد EN-13262 صراحتاً مقادیر به صورت کمی بیان شده است (استحکام تسلیم برحسب مگاپاسکال بزرگتر یا مساوی ۱۱۰ و درصد کاهش سطح مقطع بزرگتر یا مساوی ۱۶). با توجه به اهمیت پارامتر چقرمگی شکست در ایجاد شکست چرخ، استاندارد EN-13262 مقدار کمی چقرمگی شکست سطح غلتش چرخ را با میانگین‌گیری از ۶ عدد نمونه تست شده با مقدار بزرگتر یا مساوی $70 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt{\text{m}}$ ، بیشتر از $80 \text{ N/mm}^2 \cdot \sqrt{\text{m}}$ تعیین نموده است، اما در استاندارد روسی GOST-10791 هیچ‌گونه اشاره‌ای به این پارامتر نشده است. همچنین میزان استحکام به ضربه، که معمولاً در دو دمای بالاتر و پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود، در استاندارد EN-13262 در دمای پایین، به میزان بزرگتر مساوی ۷ بیان شده در صورتی که در استاندارد GOST-10791 و فیش UIC-812-3 هیچ معیاری برای آن ذکر نشده است. به علاوه، اختلاف سختی در عمق چرخ در استاندارد GOST-10791 حداقل ۲۵۵ برینل و EN-13262 حداقل ۲۳۵ برینل، در تعامل با ریل قابل تأمل می‌باشد.

۲-۲-۱. تست‌های غیرمخرب^۷

تست‌های غیرمخرب یکی از کاربردی‌ترین روش‌های کنترل کیفی برای تعیین عیوب در قطعات مختلف و نیز ارزیابی کیفیت محصولات است. با استفاده از این آزمون‌ها می‌توان عیب‌های موجود در قطعات از جمله ترک و شکستگی داخلی و سطحی، تخلخل و حفره‌های داخلی و نیز هرگونه عیبی که در هنگام ساخت قطعه در آن ایجاد می‌شود را شناسایی کرد. از جمله این تست‌ها می‌توان به تست فراصوتی^۸، آزمون ذرات مغناطیسی^۹، تست مایع نافذ^{۱۰} و جز این‌ها اشاره کرد [۸]. در مورد انجام این

در استاندارد GOST-10791 از نوع فولادهای پرکربن می‌باشند. گفتنی است سختی پایین‌تر فولاد در نتیجه کاهش مقدار درصد کربن در اثر ایجاد کریستال محلول، با مقدار درصد بالای منگنز جبران می‌شود یا به بیانی، همواره باید توازن میان میزان عناصر کربن و منگنز جهت دستیابی به سختی مورد نظر وجود داشته باشد.

۲-۱-۲. فسفر

فسفر افزایش‌دهنده میزان تردی است. در موقع انجماد مذاب فولاد، شدیداً سبب جدایش‌های اولیه (رسوباتی از ترکیبات فسفر) و ایجاد جدایش‌های ثانویه در حالت انجماد در اثر تنگ‌شدن شدید ناحیه آستنیت می‌شود [۷]. به علت سرعت نفوذ نسبتاً پایین فسفر در فاز آلفا و گاما و به دلیل اینکه دست یافتن به توزیع یکنواخت فسفر به ندرت ممکن خواهد بود، سعی می‌شود فسفر تا سرحد امکان پایین نگه داشته شود. همان‌گونه که بیان شد، فسفر حتی به مقدار بسیار جزیی حساسیت در مقابل تردی را افزایش می‌دهد. همچنین تردی ایجاد شده در نتیجه فسفر و کربن، با افزایش درجه حرارت سخت‌کردن و اندازه‌دانه‌بندی همراه خواهد بود. این تردی به عنوان شکنندگی سرد و حساسیت در مقابل نیروهای ضربه‌ای ظاهر می‌گردد. جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر میزان عنصر فسفر در فولاد براساس استاندارد EN-13262 ۰/۰۲ درصد و در فیش UIC-812-3 و استاندارد GOST-10791 ۰/۰۳۵ درصد در نظر گرفته شده است. به بیانی، کمتر بودن میزان درصد فسفر در فولادها براساس استاندارد EN-13262 دلیل بر بالاتر بودن کیفیت مذاب و بهبود عمر خستگی خواهد بود.

۲-۱-۳. گوگرد

وجود عنصر گوگرد عمدتاً با کاهش مقاومت به شکست جوش و ضربه همراه خواهد بود. مقدار این عنصر براساس استاندارد EN-13262، کمتر از دو استاندارد UIC-812-3 و GOST-10791 می‌باشد و بنابراین مذاب حاصل دارای کیفیت بالاتری خواهد بود.

۲-۱-۴. وانادیوم

وانادیم از جمله عناصر آلیاژی مهمی است که تأثیر بسزایی در افزایش استحکام و مقاومت در برابر خوردگی فولاد دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، درصد کسر جرمی این عنصر در استاندارد GOST-10791 بیشتر از دو استاندارد دیگر

تست‌ها در هر کدام از استانداردها دستورالعمل و روش خاصی مد نظر است که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد. در فیش -UIC 3-812 از روش باومن^{۱۱} استفاده می‌شود. در این روش نمونه‌ای به صورت برش عرضی از چرخ جدا کرده و عیوب داخلی آن به کمک تست فراصوتی بررسی می‌گردد. این تست در راستای شعاعی تا عمق ۱۰ میلی‌متر و در راستای محوری تا عمق ۳۰ میلی‌متر در فرکانس نامی ۲ تا ۴ مگاهرتز انجام می‌شود. در استاندارد GOST-10791 بیان شده است که موقعیت، اندازه و ویژگی هریک از عیوب ماکروساختاری قابل قبول، باید مطابق با نیازهای فنی مشتری در نظر گرفته شود. در صورت انجام تست فراصوتی، باید این تست برای لبه چرخ در دو راستای شعاعی و محوری انجام شود. از دیگر روش‌های قابل قبول انجام تست‌های غیرمخرب اشاره شده در استاندارد GOST-10791 می‌توان به روش پودر مغناطیسی، جریان گردابی و سایر روش‌های مورد قبول

مشتری اشاره کرد. همچنین سطح روی چرخ‌ها باید عاری از هرگونه عیوبی چون ترک، پوسیدگی، خوردگی و آلودگی باشد. برای از بین بردن این عیوب سطحی می‌توان از ماشینکاری براساس استاندارد GOST-9036 استفاده کرد. میزان صافی سطح باید مطابق نیاز فنی مشتری برآورده شود. جان چرخ‌ها نیز مطابق این استاندارد، باید با روش ساچمه‌زنی^{۱۲} سخت‌کاری و در مقابل خوردگی محافظت شود. در واقع تحویل چرخ‌ها بدون انجام عملیات سخت‌کاری ساچمه‌زنی جان چرخ، فقط در صورت موافقت مشتری انجام خواهد شد. باید خاطر نشان کرد که در فیش -UIC 3-812 هیچ‌گونه معیار پذیرشی برای عیوب سطحی ارائه نشده، اما در استاندارد EN-13262 عیوب سطحی مجاز با استفاده از روش آزمون ذرات مغناطیسی استفاده می‌شود که برای سطوح ماشینکاری شده حداکثر ۲ میلی‌متر و برای سطوح غیرماشینکاری مانند آهن‌گری یا نورد ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی فولاد آلیاژی چرخ براساس استانداردهای EN-13262، GOST-10791 و UIC-812-3 [۳-۵]

UIC-812-3	GOST-10791-G2	EN-13262-R7T	نوع فولاد	
Iso/82 مطابق استاندارد	-	≥ 520	استحکام تسلیم ^{۱۴}	لبه چرخ ^{۱۳}
820-940	910-1110	820-940	استحکام نهایی ^{۱۵}	
≥ 14	≥ 14	≥ 14	درصد کاهش سطح مقطع ^{۱۶}	
-	≥ 8	-	درصد ازدیاد طول ^{۱۷}	
مطابق استاندارد Iso/R79	≥ 255 اختلاف بین مقادیر سختی در عمق ۳۰ میلی‌متر در پیرامون چرخ نباید بیشتر از ۲۰ برینل باشد	≥ 235	سختی برینل در عمق ۳۰ میلی‌متر	
میانگین ۶ عدد نمونه تست شده ≤ 80 (مقدار هر نمونه ≤ 70)	-	میانگین ۶ نمونه تست شده ≤ 80 (مقدار هر نمونه ≤ 70)	چقرمگی شکست	
$Ku \geq 15$	$Ku \text{ at } 20^\circ C \geq 20$	$Ku \text{ at } 20^\circ C \geq 12$	استحکام به ضربه ^{۱۸}	
-	-	$Kv \text{ at } -20^\circ C \geq 7$		
$Rm \leq 760$ (N/mm ²)	نباید از ۸۰ درصد مقدار استحکام نهایی لبه چرخ بیشتر باشد	≥ 110	استحکام تسلیم	جان چرخ ^{۱۹}
≥ 16	اختلاف بین سختی web و سختی متوسط در عمق ۳۰ میلی‌متر نباید کمتر از ۱۵ واحد باشد	≥ 16	درصد کاهش سطح مقطع ^{۲۰}	
-	$Ku \text{ at } 20^\circ C \geq 20$ $Kv \text{ at } -60^\circ C \geq 15$	-	استحکام به ضربه	

۲-۲-۲. زبری سطح

در فیش UIC-812-3 زبری سطح (Ra) نمونه پس از عملیات پرداخت باید کمتر از ۵ میکرون باشد. قبل از اندازه‌گیری این

مقدار، باید از سطح مورد نظر عکسبرداری شده و نمونه به مدت حدوداً ۳ دقیقه در محلول ۲ درصد سولفوریک اسید نگهداری شود.

ضمناً آن بخش از چرخ‌ها که به‌صورت آهنگری یا نورد تولید می‌شوند باید ساچمه‌زنی گردند. در حالی که در استاندارد GOST-10791 لازم است قبل از انجام عملیات حرارتی، نسبت به بررسی صافی سطح چرخ (به‌جز قسمت اتصال لبه به جان چرخ) اقدام

نمود که مقدار مجاز Ra نباید بیشتر از ۱۲/۵ میکرون باشد. پس از انجام عملیات حرارتی، اندازه‌گیری صافی سطح لبه تا عمق ۰/۳ میلی‌متر انجام می‌شود و در نهایت در استاندارد EN-13262، زبری سطح مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳. زبری سطح چرخ براساس استاندارد EN-13262 [۴]

زبری ^{۲۱}	شرایط تحویل ^{۲۲}	قسمت‌های مختلف چرخ ^{۲۳}
≤12.5	تمام شده ^{۲۴}	قطر داخلی ^{۲۵}
0.8-3.2	آماده جهت مونتاژ ^{۲۶}	
≤12.5	تمام شده ^{۲۷}	جان و سوراخ چرخ ^{۲۸}
≤12.5	تمام شده	سطح چرخش چرخ ^{۲۹}
≤12.5	تمام شده	سطوح لبه چرخ ^{۳۰}

۲-۲-۳. فرایند عملیات حرارتی

عملیات حرارتی عبارت است از گرم و سرد کردن کنترل‌شده در حالت جامد و بدون ایجاد تغییر شکل در فلزات و آلیاژهای فلزی جهت رسیدن به خواص مطلوب فیزیکی و مکانیکی [۶]. شرایط عملیات حرارتی درفیش UIC-812-3 براساس انواع فولادهای به‌کار رفته در چرخ به سه روش انجام می‌شود:

۱. عملیات حرارتی سطحی فولاد^{۳۱}

۲. روش کوئنچ و تمپر کردن غوطه‌وری^{۳۲}

۳. نرمالیزه کردن^{۳۳}

در استاندارد EN-13262 عملیات حرارتی به روش عملیات حرارتی سطحی فولاد به‌منظور سخت‌کاری سطحی لبه چرخ و ایجاد تنش‌های پسماند فشاری انجام می‌شود. در استاندارد GOST-10791 براساس توافق و سفارش مشتری دو روش عملیات حرارتی استفاده می‌شود:

۱. نرماله یا نرماله و تمپر کردن

۲. کوئنچ و تمپر کردن لبه چرخ

در این استاندارد در بعضی از مواقع چرخ‌های فورج‌شده عملیات حرارتی نمی‌شوند که در این شرایط خواص مکانیکی چرخ باید مطابق با سفارش مشتری باشد. در روش کوئنچ و تمپر کردن که در فیش UIC-812-3 و استاندارد GOST-10791 به‌منظور اصلاح ساختار دانه‌بندی انجام می‌گردد، چرخ‌ها تا دمای معینی بازگرم شده و سپس سریع سرد می‌شوند. کوئنچ کردن باعث ایجاد تنش‌های داخلی در قطعات و در نتیجه موجب ایجاد تردی و

شکندگی در آنها می‌شود. به‌همین علت به‌جز در مواردی که سختی بسیار بالایی مورد نیاز باشد، از فولادهای کوئنچ‌شده در ساخت چرخ‌ها استفاده نمی‌شود، که در این مرحله می‌بایست فولاد قبل از استفاده تمپر شود و با انجام این عملیات روی آلیاژهای سخت شده، خواص مکانیکی آلیاژ تعدیل گردد.

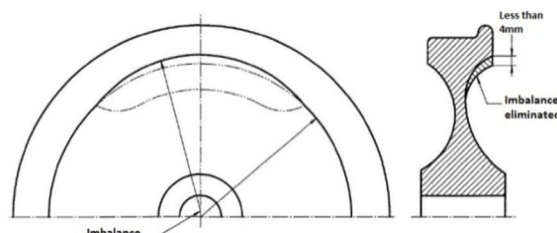
۲-۲-۴. تعیین مقدار عدم توازن چرخ

یکی از عیوب رایج در قطعات دوار، عدم توازن می‌باشد که در واقع همان توزیع نامناسب و ناهمگن جرم در اجسام دوار است. یکی از انواع عدم توازن که در بررسی چرخ بیشتر مورد استفاده است، عدم توازن استاتیکی می‌باشد. این پارامتر، در UIC-812-3 و EN-13262 براساس سرعت‌های مختلف قطار، به‌صورت کمی در جدول ۴ بیان شده است. تنها تفاوت استانداردهای ذکرشده در سرعت بالای ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده که در استاندارد EN-13262 مقدار عدم توازن استاتیکی حداکثر ۲۵ گرم متر و در فیش UIC-812-3 به ازای سرعت قطار بالای ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت، حداکثر مقدار عدم توازن ۵۰ گرم متر تعریف شده است. در مورد استاندارد GOST-10791، به مقدار کمی عدم توازن استاتیکی اشاره‌ای نشده است و تنها محل باربرداری و ضخامت مجاز باربرداری ذکر شده است. محل باربرداری مطابق شکل ۱ در قسمت مرکزی اتصال بین لبه و جان چرخ روی فلنج بوده و ضخامت آن نباید بیشتر از ۴ میلی‌متر باشد. در ضمن سوراخکاری روی چرخ به منظور ایجاد توازن مجاز نمی‌باشد.

جدول ۴: مقدار عدم توازن استاتیکی براساس

سرعت‌های مختلف قطار در استانداردهای مختلف [۴-۳]

نوع استاندارد	سرعت لکومتیو Km/h	عدم توازن استاتیکی g.m
EN-13262-R7T	$v \leq 120$	≤ 125
	$120 < v \leq 200$	≤ 75
	$200 < v \leq 250$	≤ 50
	$v > 250$	≤ 25
UIC-812-3	$v > 250$	≤ 125
	$v > 250$	≤ 75
	$v > 250$	≤ 50
GOST	-	-



شکل ۱: محل باربرداری در اتصال لبه و جان مطابق استاندارد

GOST-10791 و فیش UIC-812-3 [۳و۵]

تنش‌ها در فرایند ساخت قطعات می‌باشند. در فیش UIC-812 و استاندارد GOST-10791 به مقادیر مجاز کمی تنش‌های پسماند اشاره‌ای نشده است، اما روش انجام آن‌ها مخرب و مشابه می‌باشد. مطابق با استاندارد GOST-10791 تست اندازه‌گیری تنش پسماند بایستی قبل از هرگونه برش نمونه جهت تست‌های دیگر انجام گیرد. جهت اندازه‌گیری این پارامتر دو علامت به فاصله Z ۱۰۰ میلی‌متر نسبت به یکدیگر روی سطح صاف مرکز ضخامت شعاعی لبه و در دو طرف فلنج گذاشته می‌شود و برشی شعاعی از بالای فلنج به سمت مرکز چرخ زده می‌شود. فاصله بین دو علامت پس از برش نباید بیشتر از ۱ میلی‌متر کاهش یابد. در استاندارد EN-13262 این تست به صورت مخرب و غیرمخرب انجام شده و مقادیر تنش‌های فشاری نزدیک سطح غلتش چرخ بایستی در محدوده ۸۰ تا ۱۵۰ مگاپاسکال بوده که این مقادیر در عمق بین ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر از سطح غلتش چرخ بایستی صفر باشند (شکل ۳). از شرایط مهم انجام تست می‌توان به ضرورت انجام تست پس از عملیات حرارتی اشاره کرد. در روش مخرب مطابق شکل ۴ در محل‌های مورد نظر کرنش سنج قرار داده و پس از برش مقاطع مطابق روش‌های ذیل، فاصله بین نقاط علامت گذاری شده را با حالت قبل از برش مقایسه می‌کنند. برش مقاطع به ۳ صورت انجام می‌گیرد:

۱. بریدن مقطعی از لبه به اندازه ۲ برابر عرض شعاعی آن
 ۲. بریدن مقطعی از لبه به موازات محور در محل اتصال جان چرخ و لبه
 ۳. بریدن مقطعی از لبه به موازات محور
- باید خاطر نشان کرد که مورد سوم برای چرخ‌هایی است که ضخامت لبه آن‌ها از ۳۰ میلی‌متر بیشتر باشد.

۲-۲-۷. خستگی

خستگی فلزات زمانی اتفاق می‌افتد که فلز تحت تنش متناوب قرار گرفته که این امر موجب شکست ناگهانی قطعه می‌گردد [۹]. در فیش UIC-812-3 و استاندارد GOST-10791 به روش اندازه‌گیری و مقادیر مجاز تنش‌ها هیچ اشاره‌ای نشده است. اما در استاندارد EN-13262 اشاره شده است که مستقل از نوع فولاد، جان چرخ باید بتواند دامنه تنش را طبق مقادیر جدول ۶ برای طول ۱۰۷ سیکل بارگذاری بدون هیچ ترک اولیه و با احتمال ۹۹/۷ درصد تحمل نماید.

۲-۲-۵. آزمون میکروگرافی

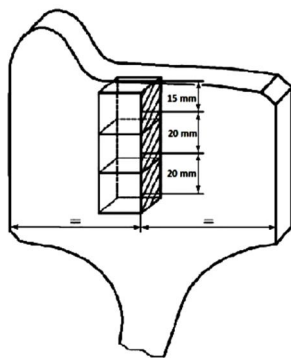
این آزمون جهت اندازه‌گیری ناخالصی‌های غیرفلزی (نظیر سولفور، آلومینات، سیلیکات و جز این‌ها) موجود در آلیاژ فولاد ساخت چرخ استفاده می‌شود. در فیش UIC-812-3 اطلاعاتی در این مورد ارائه نشده است، اما در استانداردهای GOST-10791 و EN-13262 حد متوسط ناخالصی‌های غیرفلزی در فولادهای وکیوم شده و وکیوم نشده در قسمت لبه چرخ مطابق جدول ۵ می‌باشد. در استاندارد EN-13262 محل نمونه‌برداری در موقعیت ۱۵ میلی‌متری زیر سطح غلتش چرخ مطابق با شکل ۲-الف انجام می‌شود. در استاندارد GOST-10791 روش اندازه‌گیری ناخالصی غیر فلزی مطابق GOST-1778 انجام می‌شود. اندازه‌گیری روی ۶ عدد نمونه با سطح مقطع بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر مربع بوده و فاصله مرکز هر نمونه تا سطح غلتش مطابق با شکل ۲-ب می‌باشد.

۲-۲-۶. تنش پسماند^{۲۴}

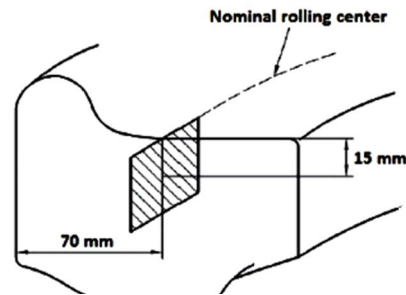
به‌طور کلی اغلب فرایندهای ساخت و تولید در قطعه عامل ایجاد تنش پسماند می‌باشد. جوشکاری، آهنگری، ماشینکاری، ریخته‌گری، شکل‌دهی و عملیات حرارتی از منابع ایجاد این

جدول ۵. حد متوسط ناخالصی غیر فلزی در استانداردهای GOST-10791 و EN-13262 [۴-۵]

نوع ناخالصی	EN 13262 - R7T		مطابق با استاندارد GOST فولاد و کیوم نشده/ فولاد و کیوم شده
	سری ضخیم (بیشینه)	سری نازک (بیشینه)	
A Sulfur	1.5	2	-
Sulfides (C)	-	-	2/3
B Aluminate	1.5	2	-
Stringer oxides (OC)	-	-	1/1
C Silicate	1.5	2	-
Plastic Silicate (CP)	-	-	1.5/3
Fragile silicate (CX)	-	-	2/3
D Globular oxides (CH)	1.5	2	2.5/3
B+C+D	3	4	-

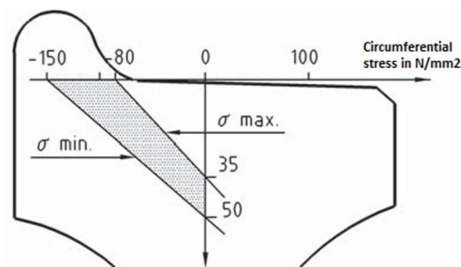


(ب)

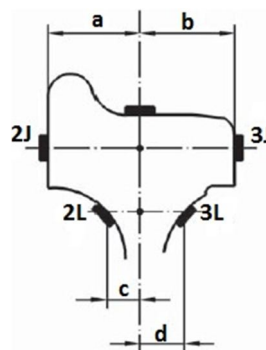


(الف)

شکل ۲. محل نمونه برداری آزمون میکروگرافی؛ الف) مطابق با استاندارد EN-13262، ب) مطابق با استاندارد GOST-10791 [۴-۵]



شکل ۳. دامنه تغییرات تنش پسماند محیطی مطابق با استاندارد EN-13262 [۴]



شکل ۴. محل نصب کرنش سنجها در روش مخرب اندازه گیری تنش پسماند مطابق با استاندارد EN-13262 [۴]

جدول ۶. مقادیر خستگی جان چرخ برای طول ۱۰۷ سیکل بار گذاری بدون هیچ ترک اولیه مطابق استاندارد EN-13262-R7T [۴]

شرایط تحویل جان چرخ ^{۳۵}	$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
ماشینکاری شده ^{۳۶}	450
نورد شده ^{۳۷}	315

به شرایط آب‌وهوایی در زمان بارگیری و ارسال چرخ‌ها مطابق با استاندارد GOST-15150 صورت گیرد. همچنین قبل از انبار و ارسال، باید از آسیب چرخ‌ها در مقابل هرگونه خوردگی مطابق با روش مورد نظر فروشنده جلوگیری به عمل آید. در استاندارد EN-13262 علامت‌گذاری باید شامل لوگوی شرکت سازنده، شماره قالب، نوع فولاد، سال و ماه تولید، موقعیت نقاط بالانس نشده چرخ و شماره سریال چرخ پس از عملیات حرارتی باشد، و در مورد تحویل بار بایستی زمان تحویل بار از سالم بودن فلنج چرخ‌ها و سطوح اطمینان حاصل نموده و عدم توازن، قطر چرخ، هسته و فلنج کنترل شوند.

۲-۴. شرایط گارانتی

در فیش UIC-812-3 مدت زمان گارانتی پنج ساله است که دوره آن از پایان زمان علامت‌گذاری روی چرخ آغاز می‌شود. چرخ‌هایی که در دوره زمان گارانتی دچار مشکل شده و خارج از سرویس‌دهی شوند، بایستی از رده خارج گردند که البته قبل از آن نیاز است توسط شرکت سازنده بازرسی فنی شود. زمانی که تشخیص و شناسایی علت خرابی بین سازنده و مشتری دشوار باشد باید از یک کارشناس واسط و بی‌طرف بدین منظور استفاده گردد. چنانچه ۲ عدد چرخ که از یک بیج تولید شده‌اند در مدت زمان سرویس‌دهی دچار آسیب شوند (یا بیشتر از ۵ درصد چرخ‌های تولیدشده از یک بیج دچار مشکل شده باشند) این حق برای مشتری وجود خواهد داشت که تمامی چرخ‌های تولیدشده با بیج مذکور را از رده سرویس‌دهی خارج کند. چرخ‌های رد شده باید به شرکت سازنده عودت داده شده و چرخ‌های جایگزین بدون عیب یا هزینه چرخ‌های عیب دار به مشتری پرداخت شوند. مطابق با استاندارد GOST-10791، گارانتی چرخ‌ها در مدت زمان استفاده شامل کیفیت فولاد و سطح روی چرخ خواهد بود. سازنده هیچ‌گونه مسئولیتی در قبال چرخ‌هایی که در معرض جوشکاری، ساخت و ساز و راهسازی، فرایندهای لیزر، گرمایش با تورچ گاز و پلاسما و جریان‌های فرکانس بالا باشند نخواهد داشت. در استاندارد EN-13262 شرایط گارانتی لحاظ نشده است.

۲-۳. علامت‌گذاری، انبار و ارسال بار

پس از اتمام فرایند تولید چرخ، به‌منظور ایجاد قابلیت شناسایی و سهولت در عملیات نگه‌داری و ارسال بار برای مشتری، محدودیت‌ها و الزامات خاصی بایستی رعایت گردد. در فیش UIC-812-3 علامت‌گذاری باید شامل لوگوی شرکت سازنده، شماره قالب، نوع فولاد، شرایط عملیات حرارتی، تاریخ ساخت (سال و ماه)، تأییدیه بازرسی فنی و موقعیت نقاط بالانس نشده چرخ و ثبت مقدار آن‌ها باشد. توجه شود که علامت‌گذاری بایستی روی سطح پیشانی چرخ انجام گیرد. پس از انجام بازرسی و قبل از ذخیره و ارسال بار، باید از چرخ‌ها مطابق با روش مورد نظر فروشنده و ملزومات فیش UIC-842-5 ضمیمه ۲، در مقابل خوردگی و هرگونه آسیب حفاظت به عمل آید. همچنین تمامی قسمت‌های ماشینکاری شده چرخ‌ها به جز دو بخش فلنج و سطح غلتش روی ریل گریسکاری شوند.

مطابق استاندارد GOST-10791 علامت‌گذاری باید شامل موقعیت علامت‌گذاری در فاصله بین ۳-۱۰ میلی‌متر از لبه داخلی روی سطح پیشانی فلنج و با اندازه ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر ارتفاع و بیشینه عمق ۴ میلی‌متر بوده و شامل موارد ذیل باشد:

سال ساخت چرخ (شامل ۲ رقم آخر)، نوع فولاد، تعداد چرخ‌های تولید شده در یک بیج، شماره سازنده و ثبت علامت Γ پس از نوع فولاد، در صورت استفاده از فولاد با درصد کربن بیشتر از ۰/۶۳، در صورت فروش چرخ‌ها به کشورهای CIS و Baltic دو کد در دو سمت مخالف چرخ در موقعیت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متری علامت اصلی چرخ حک می‌شود. بین شماره سازنده و شماره سریال چرخ روی سطح پیشانی فلنج فضای آزادی جهت تأییدیه مشتری باید وجود داشته باشد. درخصوص انبار و ارسال بار گواهینامه ارسال بار شامل موارد ذیل می‌باشد:

نام شرکت سازنده، نوع فولاد، قطر نامی سوراخ، تعداد چرخ‌های تولیدشده در یک بیج، شماره چرخ، شماره قالب، تاریخ بارگیری و ارسال و شماره استاندارد. توجه شود که تأییدیه دپارتمان کنترل کیفی باید ضمیمه بسته‌بندی چرخ‌ها باشد و توجه

۳. نتیجه گیری

می‌کند، استاندارد EN-13262 هیچ‌گونه نقطه نظری در مورد شرایط گارانتی ندارد و استاندارد UIC-812-3 در این مورد نسبت به EN-13262 کامل‌تر می‌باشد. نهایتاً با توجه به مباحث مطرح‌شده مشاهده گردید که با توجه به چرخ‌های مورد استفاده در ناوگان ریلی کشور و همچنین خواص ریل مورد استفاده، استاندارد EN-13262 نسبت به سایر استانداردها از مقبولیت بالاتری برخوردار است. همچنین شایان ذکر است که جایگزینی استاندارد EN-13262 توسط اتحادیه بین‌المللی راه آهن‌ها با برخی از فیش‌های UIC-812-3 مؤید نتیجه‌گیری ارائه‌شده در مورد مقبولیت استاندارد EN-13262 می‌باشد.

با توجه به اهمیت رعایت استانداردهای مختلف به جهت کنترل روند خرابی و آسیب‌دیدگی، افزایش ایمنی سیر وسائل نقلیه، کاهش هزینه‌های مربوطه و تعامل مناسب مابین چرخ و ریل مقایسه‌ای بین استانداردهای مختلف مورد استفاده در زمینه چرخ‌های مورد استفاده در صنعت ریلی کشور انجام گردید. مقایسه‌های انجام‌شده نقطه نظرات گوناگونی از جمله خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی، علامت‌گذاری، انبار و ارسال بار و شرایط گارانتی را تحت پوشش قرار می‌دهد. هر سه استاندارد مورد بحث در زمینه علامت‌گذاری، انبار و ارسال بار الزامات تقریباً مشابهی را دارا می‌باشند اگرچه GOST-10791 الزامات سخت‌گیرانه‌تری را دنبال

۴. مأخذ

- [5] All-Russia Scientific Research Institute of Railway Transport, GOST 10791, Solid-Rolled wheels specifications, 2004.
- [۶] م. منبرواقفی، عملیات حرارتی چدن‌ها، فولادها و آلیاژهای غیرآهنی، اصفهان: انتشارات ارکان، ۱۳۷۸.
- [7] H. Lawrence, VAN Vlack, *A Textbook of Materials Technology*, Reading, Mass, Addison-Wesley, 1973.
- [8] I. Vitez, D. Krumes, I. Kladaric, *9th International Conference on the mechanical behavior of materials Geneva, Switzerland*, May 25-29, 2003.
- [9] I. Hiroshige, Rinjiku (Wheelset), First Edition, Tokyo, Koyusha Corporation, Honten, 1971.

[۱] مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استانداردهای ملی ایران، تهران.

- [2] Association of American Railroads: AAR Section G. M-107/M-208, p. 6.
- [3] International Union of Railways, UIC 812-3, Technical Specification for the supply of solid (monoblock) wheels in rolled non-alloy steel for tractive and trailing stock, 5th edition, 1.1.84.
- [4] European Standard EN 13262, Railway applications-Wheelsets and bogies-Wheels-Product requirements, March 2011.

پی‌نوشت

1. international union of railways
2. association of american Railroads
3. Steel Grade
4. toughness
5. web
6. rim
7. non-destructive tests
8. ultrasonic test
9. magnetic particle test
10. liquid penetrant test
11. baumann method
12. shot peening
13. rim
14. ReH (N/mm²)

15. Rm (N/mm²)
16. relative narrowing
17. relative elongation
18. impact Strength of Ku, Kv (J/cm²)
19. web
20. relative narrowing
21. roughness (Ra)
22. state of delivery
23. srea of the wheel
24. finished
25. Bore
26. ready for assembly
27. finished
28. web and hub

-
29. rim tread
 30. rim faces
 31. rim-chilled
 32. sub-merged quenched and tempered
 33. normalized
 34. residual stress
 35. state of delivery of the web
 36. machined
 37. as rolled