



بررسی آخرین روشهای تایپ تست فنرهای اولیه و ثانویه قطارهای مترو تهران
**Investigation of the latest testing methods for the primary
and secondary springs of Tehran metro trains**

دانشجو: مهسا محمدی نخجیری، استاد راهنما: دکتر حبیب اله ملاطفی، استاد ممتحن:
دکتر پریسا حسینی تهرانی

کلیات

ساختار بوژی

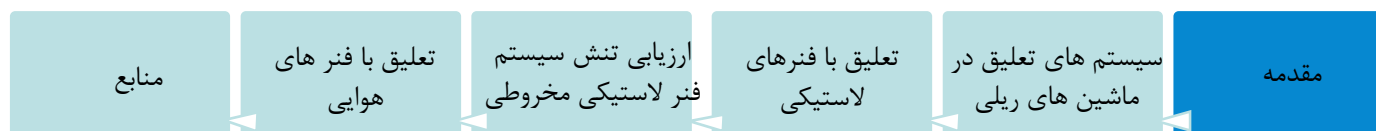
وظایف اساسی سیستم تعلیق

عبارت اند از:

(۱) توزیع نیرو

(۲) راحتی مسافر

(۳) هدایت و پایداری قطار



بوژی بخشی از واگن است که شامل سیستم ترمز، تعلیق، چرخ و محور و برخی اجزا دیگر است که امکان حرکت واگن را روی ریل فراهم می آورد.

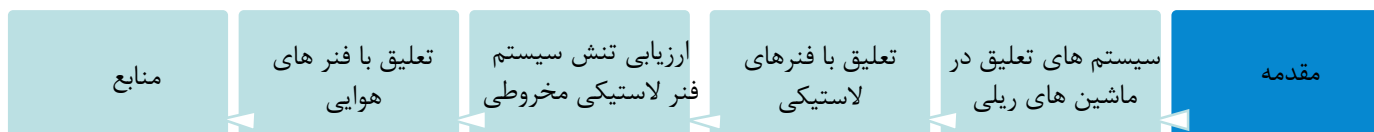
کلیات

ساختار بوژی

توزیع یکنواخت وزن واگن روی خط
سهولت در گردش واگن هنگام عبور از قوس
ایمنی سیر

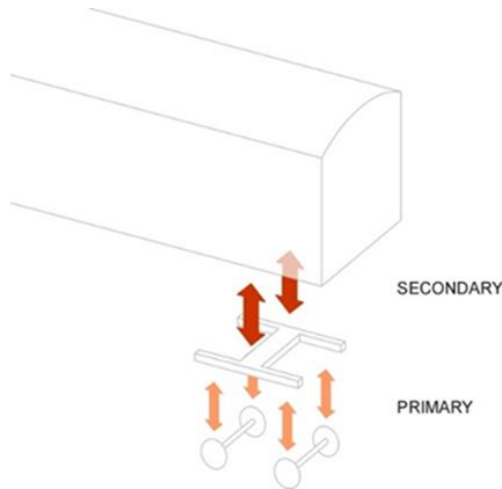
وظایف بوژی :

سهولت در مبادله واگن بین راه آهن های با عرض خط مختلف
افزایش ظرفیت بارگیری واگن در بار محوری ثابت



سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

سیستم های تعلیق مورد استفاده در وسایل نقلیه ای مانند قطار، قطار سریع السیر، مترو، سیستم های راه آهن سبک و تراموا به سیستم های تعلیق اولیه و ثانویه تقسیم می شوند.



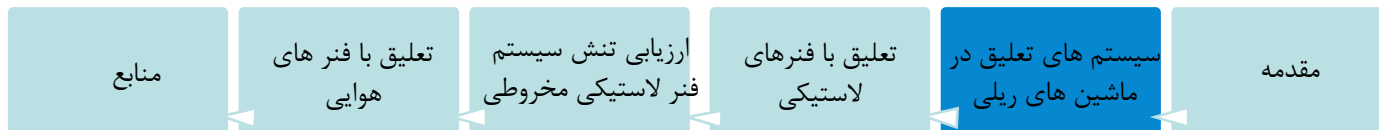
ساختار های اساسی سیستم های تعلیق:
سیستم تعلیق غیرفعال
سیستم تعلیق فعال
سیستم تعلیق نیمه فعال

تعریف کلی

تعلیق های اولیه

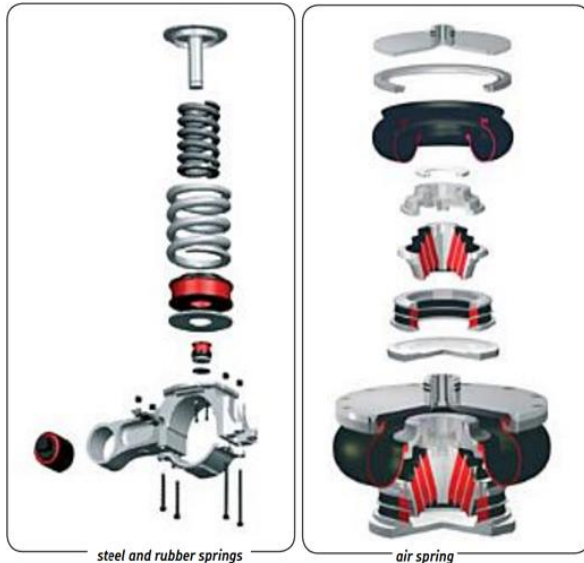
تعلیق ثانویه

ملاحظات کلی در مورد ساخت سیستم تعلیق



تعليق های اوليه

سیستم تعلیق اولیه معمولاً شامل فنرهای فولادی همراه با نوعی میرایی است که بین چرخ و قاب بوژی قرار دارد.



وظایف سیستم تعلیق اولیه:
اطمینان حاصل کردن از پایداری حرکت،
کم بودن نیروهای خط،
سایش کم،
حرکت مناسب در پیچ ها،
افزایش پایداری عرضی واگن،
افزایش کیفیت سفر

تعریف کلی

تعليق های اوليه

تعليق ثانويه

ملاحظات کلی در مورد ساخت سیستم تعلیق

منابع

تعليق با فنر های هوایی

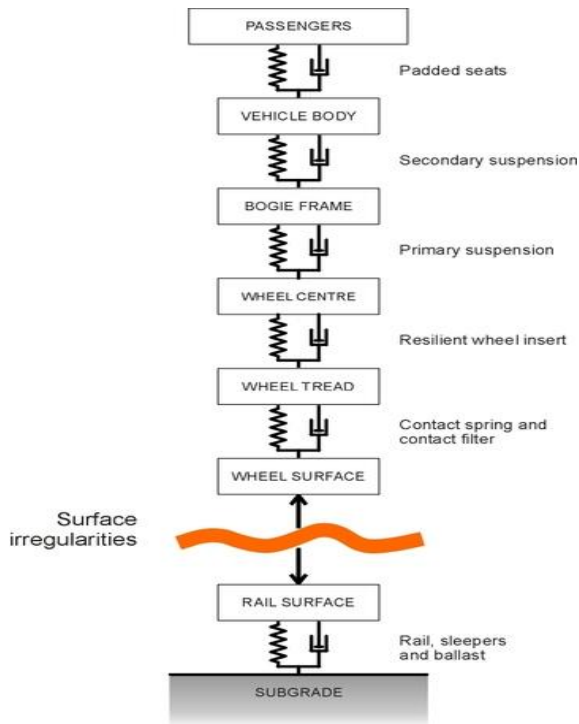
ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق های ثانويه



وظايف سيستم تعليق ثانويه :
 ايزوله كردن بدنه
 جلوگيري از تحريكات حاصل از بي نظمي هاي ريل
 فراهم كردن انعطاف پذيري عمودي و جانبي

تعريف كلي

تعليق هاي اوليه

تعليق ثانويه

ملاحظات كلي در مورد
 ساخت سيستم تعليق

منابع

تعليق با فنر هاي
 هوايي

ارزيابي تنش سيستم
 فنر لاستيكي مخروطي

تعليق با فنر هاي
 لاستيكي

سيستم هاي تعليق در
 ماشين هاي ريلي

مقدمه

ملاحظات کلی در مورد ساخت سیستم تعلیق

وظایف سیستم تعلیق:

جذب دینامیکی کامل

کاهش نیروهای اصطکاک در نقاط تماس با مسیر

کاهش شتاب عرضی و جلوگیری از خروج از ریل

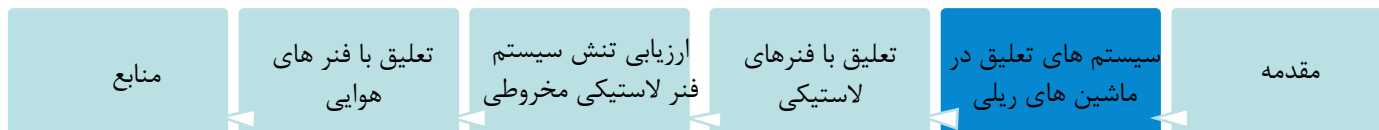
کاهش صدای ناشی از حرکت

تعریف کلی

تعلیق های اولیه

تعلیق ثانویه

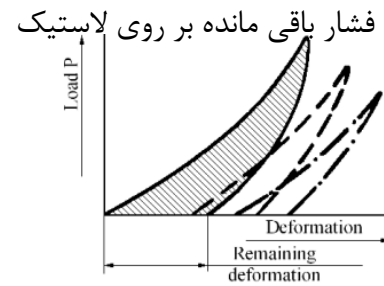
ملاحظات کلی در مورد
ساخت سیستم تعلیق



تعلیق با فنرهای لاستیکی

ضریب پسماند :

$$d = 100 \cdot (A_c - A_r) / A_c [\%]$$

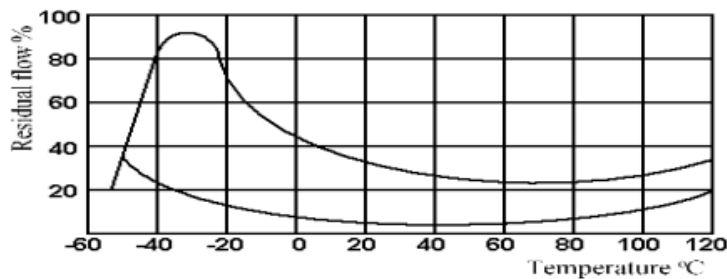


ویژگی های لاستیک مورد استفاده در ساخت تعلیق

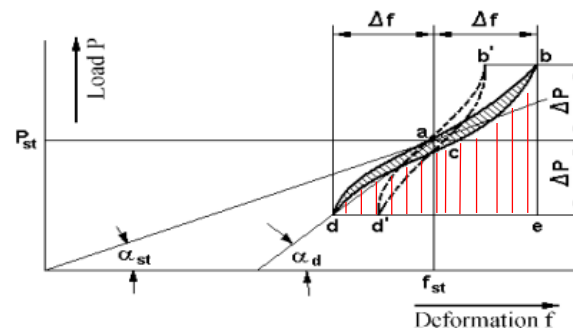
اصول محاسبه عناصر الاستیک لاستیکی

فنرهای تعلیق الاستیکی مخروطی

تأثیر دما بر تغییر شکل و جریان پسماند



چرخه تغییر شکل تایر، متناوب



منابع

تعلیق با فنرهای هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنرهای لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق با فنرهای لاستيكي

ورودي هاي هاي استاتيک و دينامیک پذيرفته شده لاستيک، daN/cm^2 (پس از UIC)

ويژگي هاي لاستيک مورد استفاده در ساخت تعليق

اصول محاسبه عناصر الاستيک لاستيکی

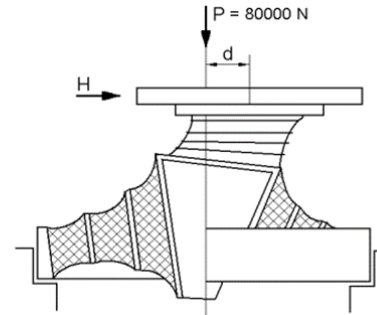
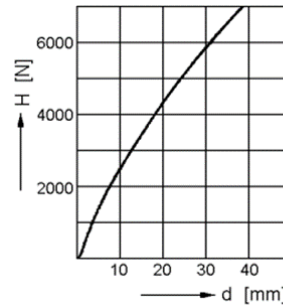
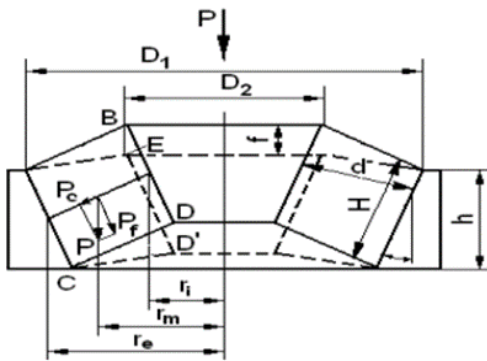
فنرهای تعليق لاستيکی مخروطی

	Static requests		Dynamic requests	
Compression	$\sigma_a =$		$\sigma_a = 8K 10$	
Shear	$\tau_a = 15$		$\tau_a = 3K 4$	
Torsion	$\tau_a = 20$		$\tau_a = 7K 9$	
daN/cm^2 (پيشنهادی) قابل قبول لاستيک				
The hardness of the rubber °Sh				
	40...50	50...60	60...80	
Compression	$\sigma_a = 4K 12$	$\sigma_a = 10K 25$	$\sigma_a = 25K 50$	
Parallel shearing		$\tau_a = 3K 5$		
Shearing and compression		$\tau_a = 3K 5 ; \tau_a = 20K 30$		
Compression and Torsion		$\tau_a = 15K 20 ; \tau_a = 25K 40$		



تعلیق با فنرهای لاستیکی

حالت تغییر شکل و ویژگی های فنر مخروطی تعلیق ثانویه



ویژگی های لاستیک مورد استفاده در ساخت تعلیق

اصول محاسبه عناصر الاستیک لاستیکی

فنرهای تعلیق لاستیکی مخروطی

$$f_c = f \cdot \sin(\alpha) = 0,2 \cdot d$$

حد تغییر شکل در فشرده سازی:

$$f_f = f \cdot \cos(\alpha) = 0,35 \cdot d$$

حد تغییر شکل برشی:

منابع

تعلیق با فنرهای هوایی

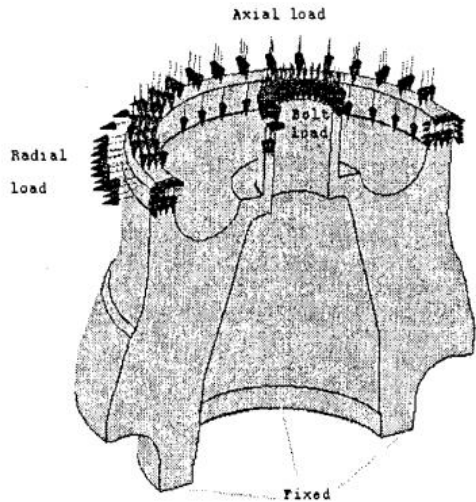
ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنرهای لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی



سیستم فنر لاستیکی مخروطی

مدل هایپیرالاستیسیته Mooney-Rivlin :

$$U = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (\bar{I}_1 - 3)(\bar{I}_2 - 3)^j + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J_{el} - 3)^{2i}$$

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{D_1}$$

مدل های سازنده
لاستیک

مدل المان محدود
(FE)

تجزیه و تحلیل تنش
استاتیک

آنالیز تنش خستگی

مقایسه تنش های محاسبه
شده و نتایج آزمایش

منابع

تعلیق با فنر های
هوایی

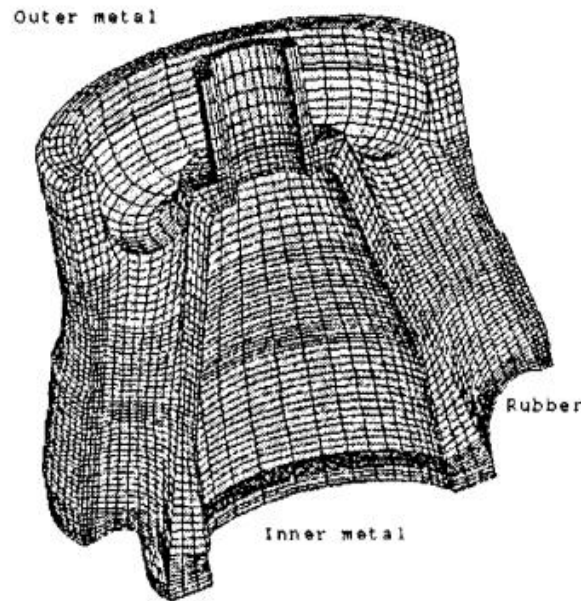
ارزیابی تنش سیستم
فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های
لاستیکی

سیستم های تعلیق در
ماشین های ریلی

مقدمه

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی



مدل المان محدود

مدل های سازنده
لاستیک

مدل المان محدود
(FE)

تجزیه و تحلیل تنش
استاتیک

آنالیز تنش خستگی

مقایسه تنش های محاسبه
شده و نتایج آزمایش

منابع

تعلیق با فنر های
هوایی

ارزیابی تنش سیستم
فنر لاستیکی مخروطی

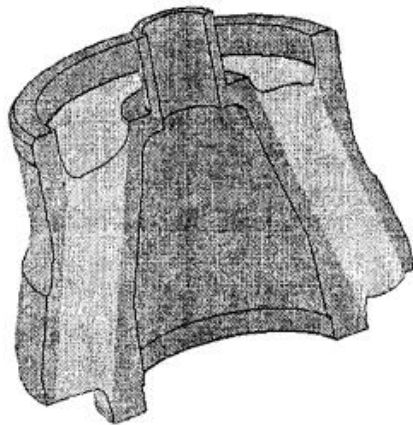
تعلیق با فنر های
لاستیکی

سیستم های تعلیق در
ماشین های ریلی

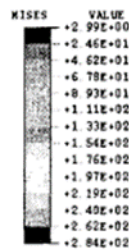
مقدمه

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

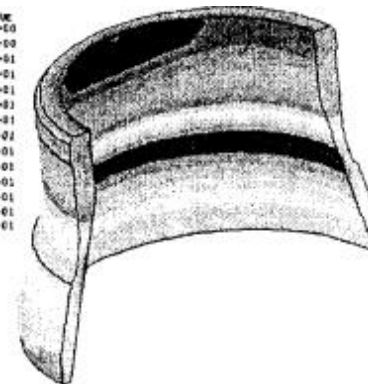
۱. بار محوری



تغییر شکل تحت بار محوری



توزیع تنش وون میزز برای فلز داخلی تحت بار پیچ + بار محوری



توزیع تنش وون میزز برای فلز خارجی تحت بار پیچ + بار محوری

مدل های سازنده لاستیک

مدل المان محدود (FE)

تجزیه و تحلیل تنش استاتیک

آنالیز تنش خستگی

مقایسه تنش های محاسبه شده و نتایج آزمایش

منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تنش فوق :

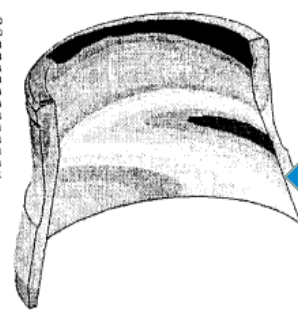
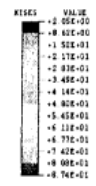
الف. استحکام سیستم فنر لاستیکی مخروطی نیاز طراحی را برآورده می کند.
 ب. ناحیه بحرانی برای فلز داخلی ناحیه گلوگاهی است. این تمرکز تنش ممکن است در صورت اعمال شعاع بزرگتر کاهش یابد.

ج. برای فلز بیرونی، ناحیه تنش بالاتر در اطراف بخش میانی است که در آن تغییر شکل هندسی رخ می دهد.

۲. بار ترکیبی



توزیع تنش وون میزز برای فلز داخلی تحت بار پیچ + بارهای ترکیبی



توزیع تنش وون میزز برای فلز خارجی تحت بار پیچ + بارهای ترکیبی

مدل های سازنده لاستیک

مدل المان محدود (FE)

تجزیه و تحلیل تنش استاتیک

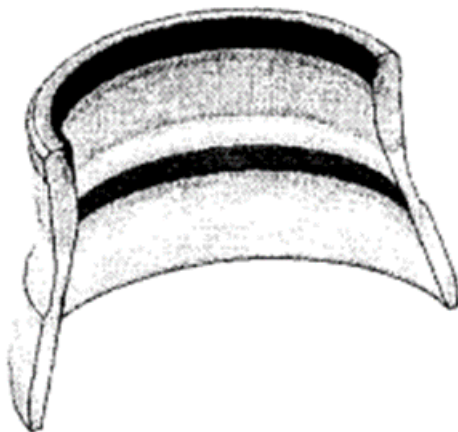
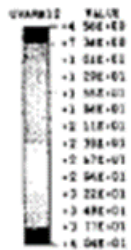
آنالیز تنش خستگی

مقایسه تنش های محاسبه شده و نتایج آزمایش

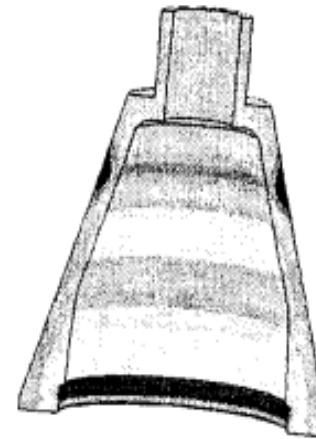


ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

دامنه توزیع تنش وون میزز برای فلز خارجی تحت بار پیچ \pm بار محوری ۲۲.۵ kN



دامنه توزیع تنش وون میزز برای فلز داخلی تحت بار پیچ \pm بار محوری ۲۲.۵ kN



مدل های سازنده
لاستیک

مدل المان محدود
(FE)

تجزیه و تحلیل تنش
استاتیک

آنالیز تنش خستگی

مقایسه تنش های محاسبه
شده و نتایج آزمایش

منابع

تعلیق با فنر های
هوایی

ارزیابی تنش سیستم
فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های
لاستیکی

سیستم های تعلیق در
ماشین های ریلی

مقدمه

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

مدل های سازنده
لاستیک

مدل المان محدود
(FE)

تجزیه و تحلیل تنش
استاتیک

آنالیز تنش خستگی

مقایسه بین نتایج آزمایش و محاسبات المان محدود بارگذاری: بار پیچ ۵۰ کیلونیوتن + بار محوری ۵۸ کیلو نیوتن ± بار محوری ۵.۲۲ کیلو نیوتن

Rosette Reference	Test Results(MPa)	FE Results(MPa)
I1	±4.1	±2.2
O1	±17.0	±15.3

مقایسه تنش های محاسبه شده و نتایج آزمایش



تعليق با فنر های هوایی

تعريف كلي

مواد و روش ها

جمع بندي بخش فنر های هوایی

مزایای اصلی فنر هوایی در مقایسه با فنر حلقوی معمولی:

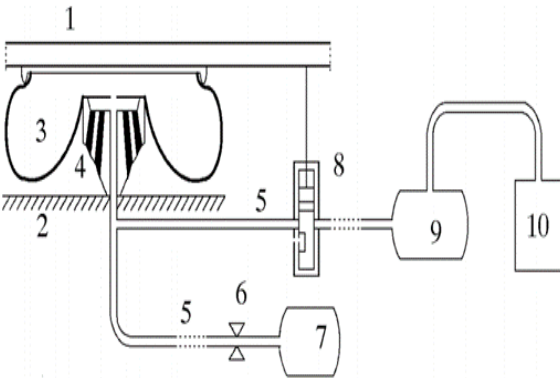
آ. سفتی بیشتر به ازای پیش بار بیشتر
ب ارتفاع مستقل از پیش بار به دلیل کنترل سطح

ج سفتی افقی قابل توجه
د ارتفاع کم

ه. عایق مناسب صدا و ارتعاش

هزینه و پیچیدگی دو نقطه ضعف فنرهای هوایی می باشد.

1. Carbody interface
2. Bogie interface
3. Air bag
4. Additional spring
5. Surge pipe
6. Orifice
7. Surge reservoir
8. Levelling valve
9. Air container
10. Compressor



منابع

تعليق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعليق در ماشین های ریلی

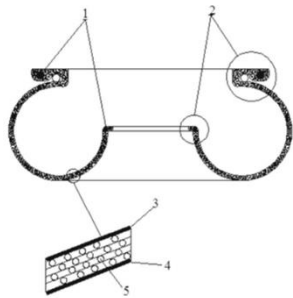
مقدمه

تعلیق با فنر های هوایی

تعریف کلی

مواد و روش ها

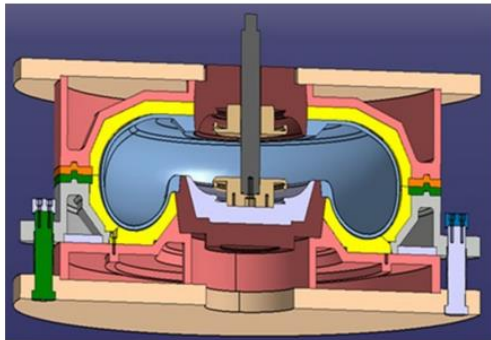
جمع بندی بخش فنر های هوایی



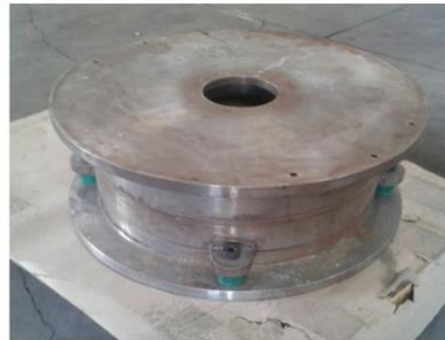
۱. مواد سازنده فنر هوایی و تولید فنر هوایی

۲. ماشین آلات تست و تولید

۱.۲. پرس و قالب وولکانش



(الف)



(ب)

منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق با فنر های هوایی

۲.۲. دستگاه ساخت



تعريف كلي

مواد و روش ها

جمع بندي بخش فنر های هوایی

منابع

تعليق با فنر های هوایی

ارزيابی تنش سیستم فنر لاستيکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستيکی

سیستم های تعليق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعلیق با فنر های هوایی

تعریف کلی

مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی

۳.۲. دستگاه تست ساچمه زنی

۴.۲. دستگاه تست Lifting-Expansion و طول عمر



منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق با فنر های هوایی

۳. تست هواگیری

تعريف كلي

مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی

تغييرات فشار و lifting load در طول آزمایش هواگیری

Time (min)	Pressure (bar)	Lifting load (kN)
0	3.31	86.4
2	3.30	86.4
4	3.30	86.3
6	3.29	86.2
8	3.29	86.1
10	3.28	86.0

منابع

تعليق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعليق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق با فنر های هوایی

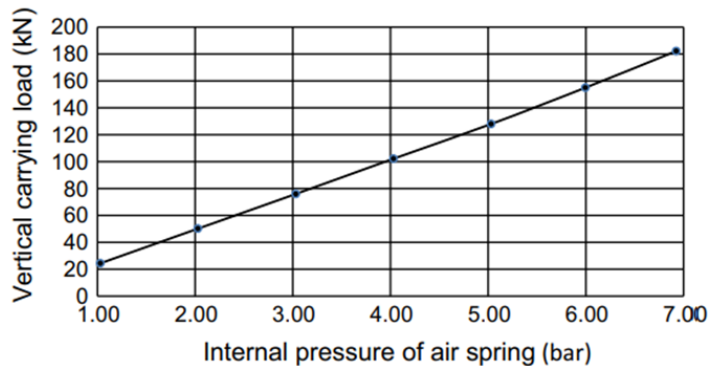
تعريف کلی

مواد و روش ها

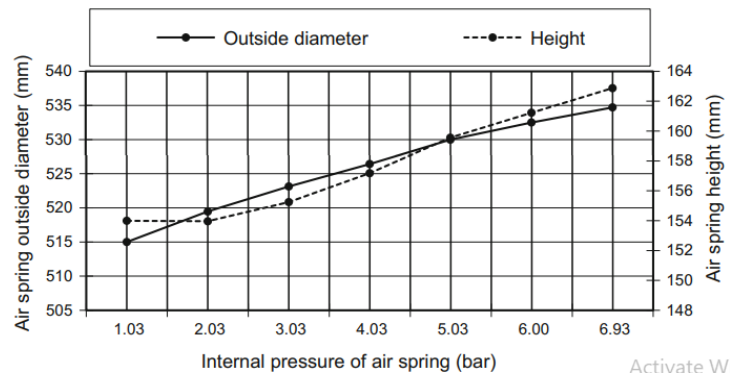
جمع بندی بخش فنر های هوایی

۴. تست Lifting-Expansion

تغییرات بار لیفتینگ بسته به فشار داخلی فنر هوایی



تغییرات مقادیر قطر و ارتفاع بسته به فشار داخلی فنر هوایی



منابع

تعليق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعليق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعلیق با فنر های هوایی

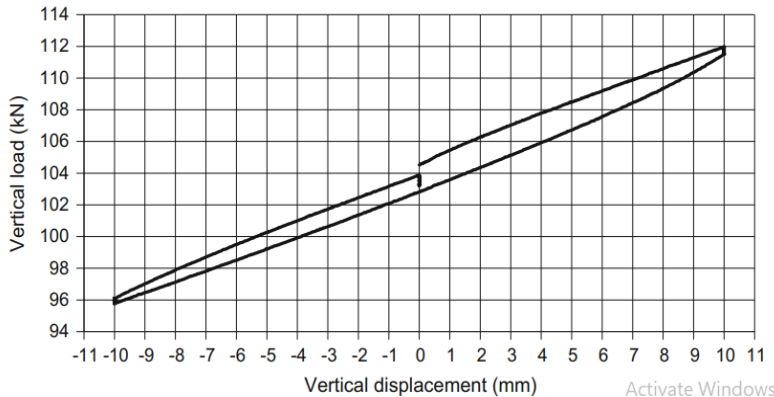
۵. آزمایش های بار-جابجایی و تعیین سختی عمودی و افقی

تعریف کلی

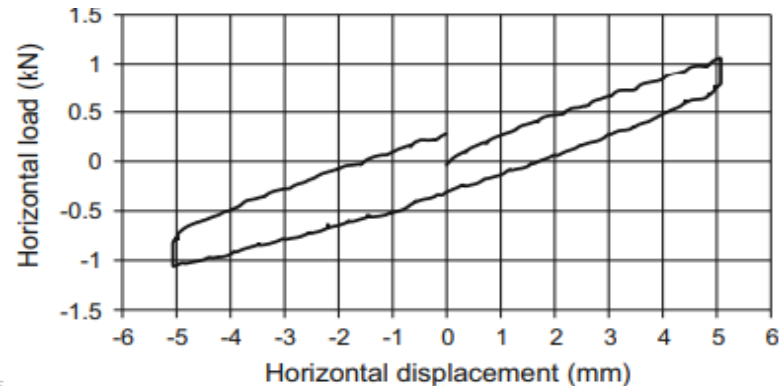
مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی

نمودار بار عمودی-جابجایی عمودی فنر هوایی استفاده شده برای محاسبه ضریب فنریت عمودی



نمودار بار افقی-جابجایی افقی فنر هوایی استفاده شده برای محاسبه ضریب فنریت افقی



منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

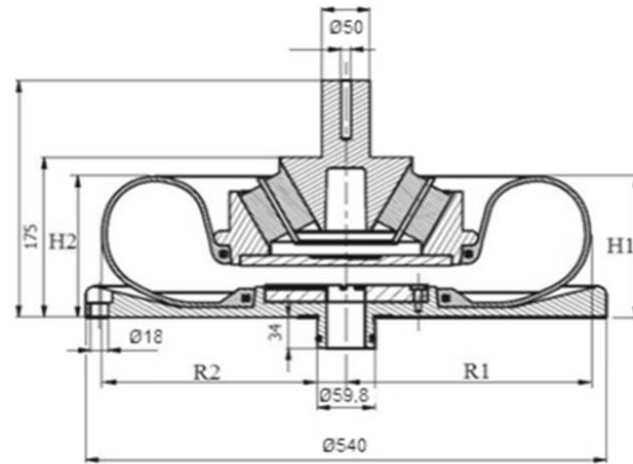
تعلیق با فنر های هوایی

تعریف کلی

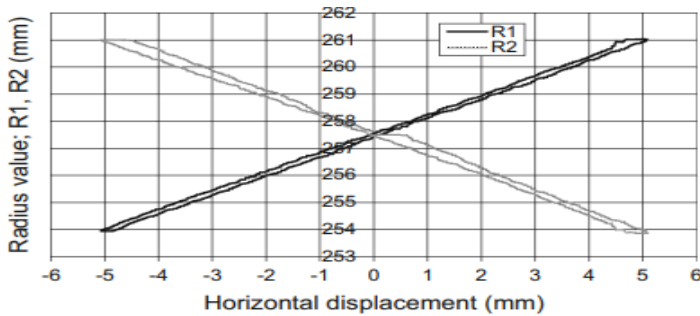
مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی

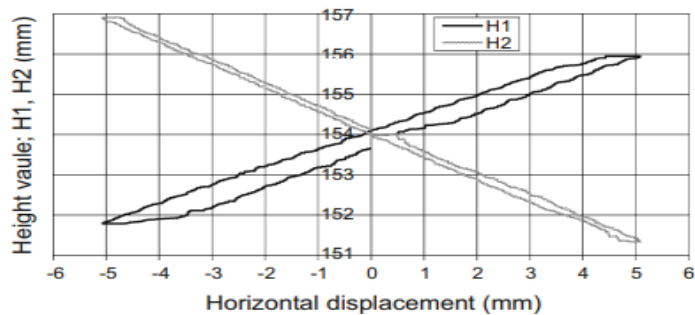
۶. اندازه گیری ابعاد



تغییر مقادیر شعاع فنر هوایی، $R1$ و $R2$ ، بسته به جابجایی افقی



تغییر مقادیر ارتفاع فنر هوایی $H1$ و $H2$ بسته به جابجایی افقی



منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعليق با فنر های هوایی

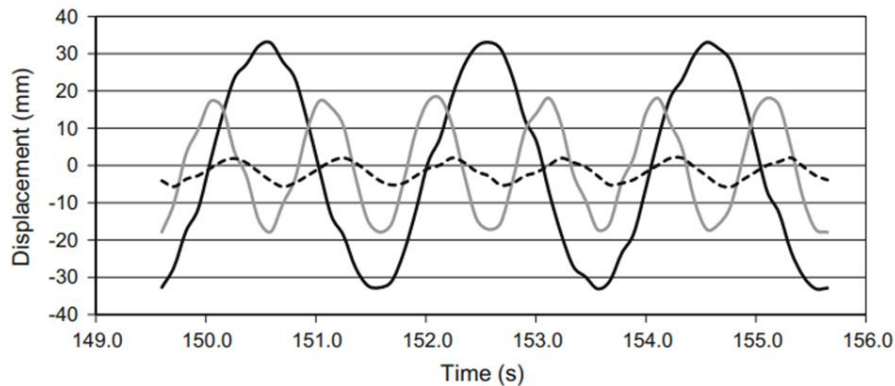
تعريف كلي

مواد و روش ها

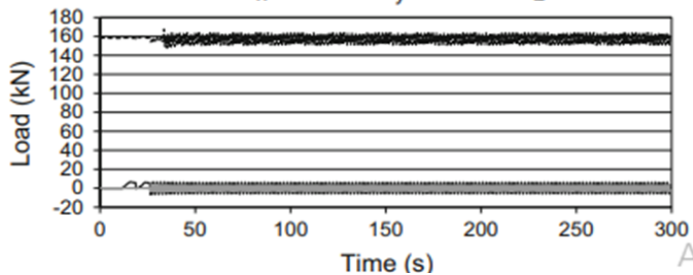
جمع بندي بخش فنر های هوایی

۷. تست طول عمر

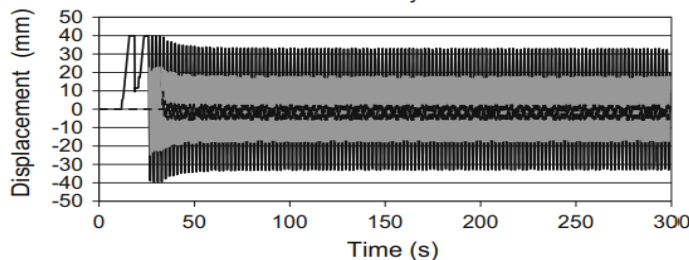
نمودار زمان - جابجایی رسم شده برای مدت زمان ۱.۶ ثانیه بین مقادیر زمانی ۶.۱۴۹ و ۷.۱۵۵ ثانیه آزمایش طول عمر



تغییر در مقادیر نیرو در محورهای X، Y و Z با زمان در طول آزمایش طول عمر



تغییر در مقادیر جابجایی در محورهای X، Y و Z با زمان در طول آزمایش طول عمر



منابع

تعليق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعليق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعليق در ماشین های ریلی

مقدمه

تعلیق با فنر های هوایی

ترکیب لاستیک استفاده شده در این مطالعه

	Content (phr)
NBR 35	100
FEF N-550	67.9
Calcite AY 215	28.6
DOP Oil	19.3
Zinc oxide	5.0
DTDM	2.5
MBTS	2.5
TMTD	2.5
Ozone wax	2.4
IPPD	2.3
TMQ	1.1
Stearic acid	0.5

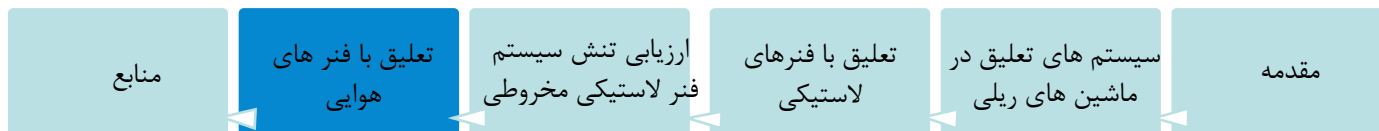
خواص مکانیکی به دست آمده از آزمون کششی تک محوری لاستیک تهیه شده

Young's modulus, E (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Tensile strength at 300% elongation (MPa)
5.94 (± 0.37)	15.88 (± 0.76)	527.17 (± 15.19)	8.90 (± 0.18)

تعریف کلی

مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی



تعلیق با فنر های هوایی

تعریف کلی

مواد و روش ها

جمع بندی بخش فنر های هوایی

نتایج آزمایش ساچمه زنی : 18.2 ± 0.1 بار

نتایج آزمایش هواگیری : مقدار افت فشار در فنر هوایی تقریباً $0.3/0$ بار ۹۱ درصد

نتایج آزمایش **Lifting-Expansion**: افزایش خطی بار بالابر با افزایش فشار هوا

نتایج آزمایش بار-جابجایی در فشار ۷ بار: افزایش قطر فنر هوایی 8.3% و افزایش ارتفاع فنر هوایی 7.5%

نتایج تعیین عدد ضریب فنر عمودی: 810 نیوتن بر میلی‌متر و افقی: 210 نیوتن بر میلی‌متر

نتایج تعیین ابعاد: $9.155 > H1 > 7.151$ ، $9.155 > H2 > 3.151$ ، $9.260 > R1 > 9.253$ ،

$9.260 > R2 > 8.253$

منابع

تعلیق با فنر های هوایی

ارزیابی تنش سیستم فنر لاستیکی مخروطی

تعلیق با فنر های لاستیکی

سیستم های تعلیق در ماشین های ریلی

مقدمه

1. [سیستم تعلیق و اجزای آن، رضا پور، محمد مهدی، فروردین ۱۳۸۷]
2. Railway Technology Today 5, How Bogies Work, Kanji Wako, December 1998
3. Methods for Reducing Vertical Carbody Vibrations of a Rail Vehicle – Anneli Orvnas; The Railway Track and Its Long Term Behaviour; skf.com
4. <https://www.europeansprings.com/the-rail-industry-springs-in-trains/#:~:text=Typically%2C%20the%20types%20of%20springs,and%20help%20to%20prevent%20derailment.>
5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/564/1/012113>
6. [Manufacture and Testing of Air Springs Used in Railway Vehicles | SpringerLink](#)
7. Stress evaluation of conical rubber spring system R. K. Luo, B. Randell, W. X. Wu, & W. J. Mortel Department of Product Design Trelleborg-Industrial A VS, UK
8. <https://the-contact-patch.com/book/rail/r1114-railway-suspension>

