

همچنین ممکن است دوست داشته باشید

- در مورد مقاله شروینگر مکانیک هرتز و دترمینان ون ویکس، آر. لویز کولینو و جان استاچل

- توصیف توپوگرافی و

مکانیکی سازه‌های یوکاریوتی زنده روی بسط‌های ماند: توسعه یک روش کلی و کاربرد آن در مطالعه لنتیویست‌های غیر جسیته، رافائل دازا، جولیا کرویس، ماریا آرويو-هرناندز و همکاران

- "هائواکس و ذرات با بار منفی" توسعه آموزش

کمیک

هاندوکو پرمانا، رحمة پورو حیده، دیوی مولانی و همکاران

دسترسی آزاد به مقاله

مطالعه عددی روی مسئله تماس صفحه‌ای شامل شمول

برای استناد به این مقاله: دی دی شی و همکاران ۲۰۲۱ مجله فیزیک: کنفرانس سری ۰۱۲۰۲۹۲۰۰۲

برای به‌روزرسانی‌ها و پیشرفت‌ها، مقاله را آنلاین مشاهده کنید.



انجمن الکتروشمی
پیشرفت علم و دانش، ساخت و توسعه



250
چشم نشست ECS

دوگاهانوشن توجه قرار بگیری

چکیده خود را ارسال کنید

مهلت ارسال: ۲۷ مارس ۲۰۲۶

دویست و پنجاهمین نشست
ECS, ۲۵ تا ۲۹ اکتبر ۲۰۲۶،
کلگری، کانادا
مرکز BMO

یک مطالعه عددی روی مسئله تماس صفحه‌ای شامل اجزاء

دی دی شی، کی ژو، وای اچ آن، پی لی و ایکس کیو جین

دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه چونگ‌کینگ، چونگ‌کینگ، ۴۰۰۰۴۴، چین^۱

آزمایشگاه کلیدی ایالتی شماره ۲ انتقال مکانیکی، دانشگاه چونگ‌کینگ،

چونگ‌کینگ، ۴۰۰۰۴۴، چین

ایمیل: kaychu0523@foxmail.com

چکیده. نظریه تماس هرتز به طور گسترده در مسائل تماس الاستیک جامد استفاده می‌شود. در این مقاله، کاربرد نظریه تماس هرتز در مسائل تماس تطبیقی بررسی شد. با در نظر گرفتن یاتاقان ساچمه‌ای شیار عمیق و مدل شیار خارجی به عنوان مثال، هم تحلیل‌های FEM و هم مطالعات نظری انجام شد. مشخص شد که وقتی ضریب شعاع انحنا شیار بیشتر از 0.55 باشد، نظریه هرتز را می‌توان عملاً برای تماس تطبیقی به کار برد. مسائل تماس یاتاقان‌های غلتشی عموماً با نظریه تماس هرتز و بدون در نظر گرفتن ناخالصی‌ها و ناهمگنی‌ها در ماده حل می‌شوند. در این مقاله، ناخالصی‌ها در تحلیل‌های تماس ارائه شده‌اند و توزیع میدان الاستیک مربوط به مدل تماس-کنجانش با استفاده از روش اجزای محدود بررسی شده است.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، صنعت ماشین‌آلات با دور جدیدی از تجدید سازمان مواجه شده و وارد دوره گذار عصر صنعتی جدید شده است که ویژگی‌های روشنفکری‌سازی، اطلاعاتی‌سازی و ادغام را نشان می‌دهد. با توسعه سریع حمل و نقل ریلی، وسایل نقلیه با انرژی جدید، هوافضا، انرژی هسته‌ای، ربات‌های هوشمند و سایر زمینه‌های علوم و فناوری مهندسی، الزامات مربوط به عمر خستگی و شرایط سرویس قطعات مکانیکی روز به روز سختگیرانه‌تر می‌شود. بنابراین، بخش‌های مهم تولید هوشمند و تولید تجهیزات پیشرفته به مواد مهندسی نیاز دارند تا عملکرد جامع بهتری داشته باشند. مسئله تماس یک موضوع تحقیقاتی کلیدی در زمینه ماشین‌آلات و مکانیک است. به عنوان یک بخش اساسی از تولید ماشین‌آلات، عملکرد کاری یاتاقان‌های غلتشی می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد کل سیستم مکانیکی تأثیر بگذارد. راه‌حل نظری برای این نوع مشکل معمولاً به نظریه تماس کلاسیک هرتز متوسل می‌شود

از زمان ارائه نظریه هرتز، این نظریه به طور گسترده برای تحلیل تماس جامدات الاستیک به کار گرفته شده است. همانطور که در کتاب درسی کلاسیک مکانیک تماس جانسون [1] توضیح داده شده است، نظریه هرتز برای تماس غیرهم‌شکل مناسب‌ترین است. برای مسائل تماس دو بعدی، نظریه تماس کلاسیک هرتز در مورد تماس غیرهم‌شکل با سطح تماس کوچک اعمال می‌شود، از این رو سطح محلی را می‌توان به عنوان یک نیم‌صفحه در نظر گرفت و پروفیل فرورونده را می‌توان با معادله سهموی تقریب زد. پرسون [2] معادله انتگرالی را برای مسئله تماس صفحه‌ای بر اساس تابع تنش ایری استخراج کرد و فرمول بسته‌ای برای توزیع فشار و رابطه بین بار و اندازه سطح تماس ارائه داد. هو و هیلز [3] و سیاورلا و دکوزی [4] به ترتیب راه‌حل تحلیلی پرسون را زمانی که دو تماس از جنس یکسان هستند حل کردند. سیاورلا و دکوزی [5] همچنین یک راه‌حل تقریبی ارائه دادند که در آن دو تماس



محتوای این اثر می‌تواند تحت شرایط مجوز Creative Commons Attribution 3.0 مورد استفاده قرار گیرد. هرگونه توزیع بیشتر این اثر باید با حفظ انتساب به نویسنده(گان) و عنوان اثر، استاندارد به مجله و DOI باشد. منتشر شده تحت مجوز IOP Publishing

از مواد مختلف. لیو [7] بر اساس تابع تنش نوع میشل [6] از یک مدل عددی برای مطالعه تماس بدون اصطکاک بین دو استوانه همدیس استفاده کرد. با کمک تابع گرین، تابع تحلیلی به ضریب نفوذ تبدیل شد تا جابجایی پین و صفحه محاسبه شود و جواب کلی سری فوری به دست آمد. نتایج عددی با نظریه پرسون سازگار است و حداکثر فشار تماسی محاسبه شده توسط نظریه هرتز کوچک است، در حالی که زاویه نیمه تماسی بزرگ است. پس از آن، لیو [8] مدل را برای مطالعه تأثیر بی‌نظمی‌های هندسی بر توزیع فشار تماسی گسترش داد

تماس گوی-غلtek برای تحلیل نظری دقیق معمولاً شامل تماس‌های غیرهم‌شکل و غیرهم‌شکل است. برای تماس غیرهم‌شکل، معمولاً از نظریه تماس هرتز استفاده می‌شود، در حالی که مسئله تماس غیرهم‌شکل صفحه‌ای عموماً از روش پرسون [2] استفاده می‌کند. کار حاضر به بررسی کاربرد نظریه هرتز در تماس غیرهم‌شکل می‌پردازد و دامنه کاربرد آن با استفاده از روش اجزای محدود تعیین می‌شود. همچنین توجه داشته باشید که در فرآیند پردازش مواد، وجود ناهمگنی‌ها باعث تغییر شکل پلاستیک قطعه کار می‌شود، بنابراین ممکن است به شدت بر توزیع میدان الاستیک درون ماده و در نتیجه عملکرد مکانیکی ماده تأثیر بگذارد. در این کار، یک مدل تماس با در نظر گرفتن وجود ناهمگنی‌های ماده ایجاد شده است، که در آن انتظار می‌رود اثرات کوپلینگ بین ناخالصی و تماس در مطالعه تماس واقعی یا تاقان اهمیت داشته باشد.

2. نظریه تماس هرتز دوبعدی

در کار حاضر، یک مدل تماس کرنش صفحه‌ای برای دو استوانه تحت نیروی عمودی P در نظر گرفته شده است [1]. ناحیه تماس با نیم‌پهنای تماس a نشان داده می‌شود. طبق نظریه تماس هرتز، فاصله اولیه h بین نقاط متناظر روی سطوح جفت‌شده برابر با $2R$ یا $2R = x^2$ است.

$$h = \frac{1}{2} \left(\frac{x}{R} \right)^2 \quad (1)$$

که در آن R_1 و R_2 شعاع استوانه‌های در تماس و R شعاع معادل آن است. در ناحیه تماس، شرط هندسی زیر اعمال می‌شود:

$$\bar{u}_{z1} + \bar{u}_{z2} = \delta - h \quad (2)$$

که در آن 8 عمق نفوذ در $x=0$ است. جابجایی‌ها و 2 از دو نقطه را می‌توان با نظریه هرتز تعیین کرد. سپس فشار تماس به صورت زیر بدست می‌آید:

$$p(x) = \frac{2P}{\pi a} \sqrt{a^2 - x^2} \quad (3)$$

حداکثر فشار تماس p_0 را می‌توان به صورت $2P/PE$

$$(4) \quad p_0 = \frac{2P}{\pi a} = \frac{\pi \rho^* \pi \rho^*}{\pi a}$$

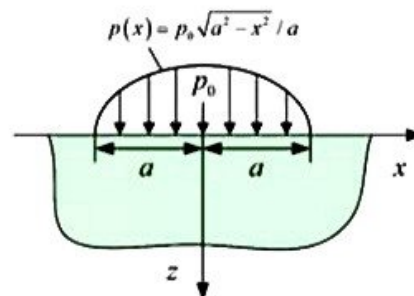
که در آن E مدول معادل است و رابطه زیر را برآورده می‌کند: $E = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ (5)

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$$

که در آن E_1 و E_2 مدول یانگ و V_1 و V_2 به ترتیب نسبت‌های پواسون دو استوانه هستند. تحت بار تماسی نشان داده شده در شکل 1، مؤلفه‌های تنش در نیم صفحه الاستیک را می‌توان به صورت بسته نوشت.

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{zp_0}{\pi} \left(\frac{a^2 + 2x^2 + 2z^2}{a} \phi - \frac{2\pi}{a} - 3x\psi \right) \\ \sigma_z = -\frac{zp_0}{\pi} (a\phi - x\psi) \\ \sigma_{xz} = -\frac{z^2 p_0}{\pi} \psi \end{cases} \quad (6)$$

که در آن $\psi = \pi(1-k_3)/kk_1$ ، $\pi(1+k_3)/kk_1$ ، k_3 و $k_2=(x-a)^2+z^2$ ، $k_1=(x+a)^2+z^2$ ، kz/k_1 ، $k_1 = \sqrt{2k_3+(k_1+k_2-4a^2)/k_1}$



شکل 1. توزیع فشار در ناحیه تماس

بحث فوق به مواردی از تماس دوبعدی با جهت مخالف می‌پردازد. با این حال، برای تماس دوبعدی با جهت مخالف، نظریه تماس هرتز به دلیل ناحیه تماس بزرگ، عموماً تضمین نمی‌شود. برای بررسی کاربرد نظریه هرتز برای تماس همدیس، لازم به ذکر است که شعاع سطح تماس مقعر منفی در نظر گرفته می‌شود و بر این اساس، شعاع معادل با $R1/R_1/R_2/1$ تعیین می‌شود. جزئیات تأیید در بخش بعدی ارائه شده است.

3. مطالعه مدل کوپلینگ تماس-گنجانش

3.1. کاربرد تماس همدیس

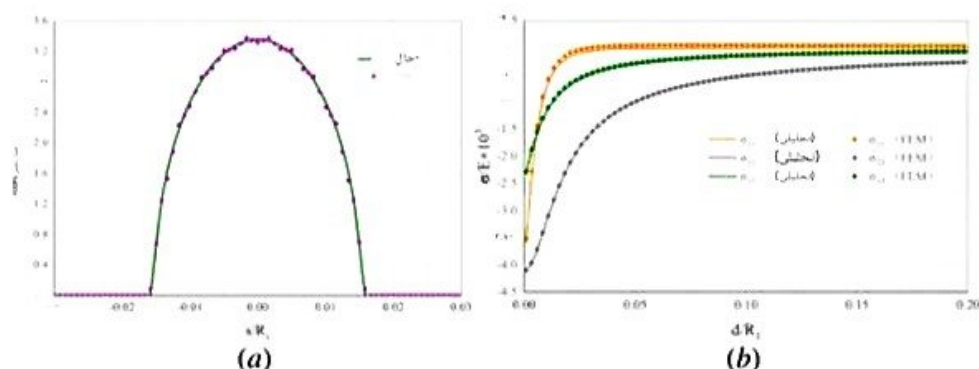
به عنوان یک مورد معمول از تماس همدیس، مدل یک گوی یاتاقان زیر و شیار خارجی در نظر گرفته شده است. شعاع گوی و شیار خارجی به ترتیب 6 میلی‌متر و 30 میلی‌متر است، هر دو مدول الاستیک 207 گیگاپاسکال و نسبت پواسون 0.3 هستند. نیروی متمرکز 100 نیوتن بر گوی اعمال می‌شود مقادیر حداکثر فشار تماسی P_0 و نیم‌پهنای تماسی a که توسط شبیه‌سازی FEM به دست آمده‌اند، در جدول 1 ارائه شده‌اند. با توجه به خطاهای ناچیز، می‌توان نتیجه گرفت که نظریه هرتز برای تماس تطبیقی قابل استفاده است. فشار تماسی در شکل 2(a) نشان داده شده است و تغییرات تنش‌ها در امتداد محور z در شکل 2(b) ارائه شده است. با مقایسه، مشخص می‌شود که مقادیر FEM با مقادیر به دست آمده از روش تحلیلی مطابقت خوبی دارند، که نشان‌دهنده اثربخشی نظریه تماس هرتز در تحلیل تماس تطبیقی است. از آنجایی که نیم‌پهنای تماس تماس تطبیقی بزرگتر از تماس غیر تطبیقی است، لازم است محدوده معتبر نظریه هرتز بیشتر بررسی شود.

کاربرد نظریه هرتز توسط ضریب شعاع انحنا شیار محدود می‌شود، که نسبت شعاع شیار به قطر گوی به صورت

$$\phi = \frac{R}{2R_1} \quad (7)$$

جدول ۱. نتایج و خطای تماس منطبق

خطا	توزیع فشار تماس	مقدار نظری	پارامتر
۲.۵۱۱٪	۰.۰۹۳۹	۰.۰۹۱۶	تماس با نیم پهنای a/mm
۰.۷۱۴٪	۶۹۹.۹۱۴	۶۹۴.۹۵۱	حداکثر فشار تماس Po/MPa



شکل ۲. (الف) توزیع فشار تماسی؛ (ب) مؤلفه های تنش در امتداد محور Z.

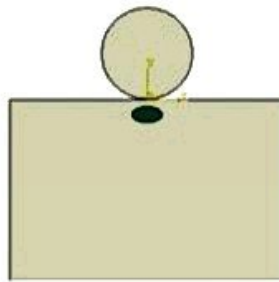
جدول ۲. تغییرات نیم پهنای تماسی و حداکثر فشار با ضریب شعاع انحنا ی شیار.

خطای Po	حداکثر فشار (FEM) Po/GPa	حداکثر فشار تحلیلی Po/GPa	خطای نیم پهنای تماسی	نیم پهنای تماسی (FEM) a/mm	نیم پهنای تماسی تحلیلی a/mm	ضریب شعاع انحنا ی شیار	شعاع شیار y R2/mm	شعاع کوی R۱/mm²
				0.0939	0.0916			
۰.۹۰۷٪	۶۹۹.۹۱۴	۶۲۴.۴۰۰	۲.۵۱۱٪	0.1036	۰.۱۰۰۴	۱.۵۰	۱۸	۶
۱.۳۱۷٪	۵۵۶.۶۴۵	۵۳۹.۴۰۶	۳.۵۳۸٪	۰.۱۱۹۹	۰.۱۱۵۹	۱.۰۰	۱۲	۶
۱.۸۶۵٪	۴۵۶.۹۵۶	۴۴۸.۵۸۹	۳.۶۶۲٪	۰.۱۳۷۲	۰.۱۳۲۰	۰.۷۵	۹	۶
2.671%	325.672	317.200	۳.۲۸۳٪	۰.۱۹۱۹	۰.۲۰۰۸	۰.۶۰	۷.۲	۶
5.289%	246.659	234.268	8.054%	0.2500	0.2719	0.55	6.6	6

برای به دست آوردن محدوده معتبر نظریه تماس هرتز، شعاع گوی ثابت پیشنهاد می شود. ضریب شعاع انحنا ی شیار با شعاع شیار بیرونی تغییر می کند. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، خطاهای شعاع تماس و حداکثر فشار تماس هنگامی که ضریب شعاع انحنا ی شیار بیشتر از 0.55 باشد، کمتر از 5٪ است. مطالعه حاضر نشان می دهد که پیش بینی توسط نظریه هرتز برای ضریب شعاع انحنا ی شیار بزرگتر مناسب تر است و هنگامی که مقدار آن به زیر 0.55 کاهش یابد، خطاها ممکن است به طور قابل توجهی افزایش یابند، به این معنی که در چنین شرایطی، راه حل هرتز دیگر قابل اعتماد نیست

۳.۲. مدل تماس-گنجانش نیم صفحه

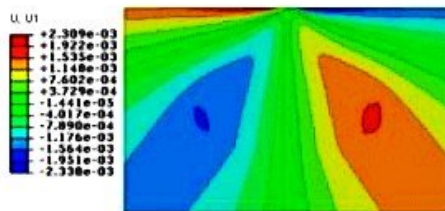
نظریه تماس هرتز برای حل مسئله تماس یاتاقان غلتشی معمولاً زمانی استفاده می شود که از وجود ناخالصی ها یا ناهمگنی های درون مواد صرف نظر شود. با این حال، تأثیر ناخالصی ها یا ناهمگنی ها بر میدان های پاسخ معمولاً قابل اغماض نیست. برای بررسی این موضوع، یک مدل تماس-گنجانش کوپل شده در ادامه، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، پیشنهاد شده است. در این کار، یک صفحه نیمه بی نهایت حاوی یک ناخالصی حرارتی در نظر گرفته شده و توزیع میدان حاصل با استفاده از روش اجزای محدود بررسی می شود.



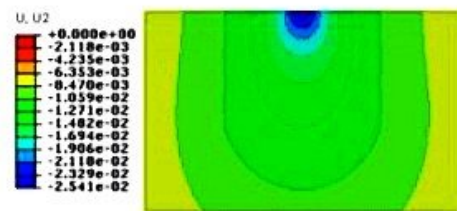
شکل ۳. مدل جفت شدگی تماسی-گنجاشی.

۳.۳. تحلیل میدان پاسخ تماسی-گنجاشی

تحلیل‌های المان محدود برای مدل تماس-گنجاشی انجام شده است، که در آن نمودار کانتور جابجایی، کرنش و تنش به ترتیب در شکل‌های ۴-۶ نشان داده شده است. ویژگی‌های پاسخ، که توسط اثر جفت شدن انبساط حرارتی و تماس‌های گنجایش ایجاد می‌شوند، در نمودار کانتور ناحیه تماس و گنجایش ارائه شده‌اند. مشاهده می‌شود که میدان‌های الاستیک حاصل ممکن است در مجاورت گنجایش به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گیرند. چنین تأثیری با دور شدن محل میدان از مناطق تماس و گنجایش کاهش می‌یابد و به تدریج در بی‌نهایت ناپدید می‌شود. از روی شکل‌ها، همچنین می‌توان دریافت که جابجایی، کرنش و تنش یا متقارن یا نامتقارن هستند، زیرا فرورونده با گنجایش همسو است.



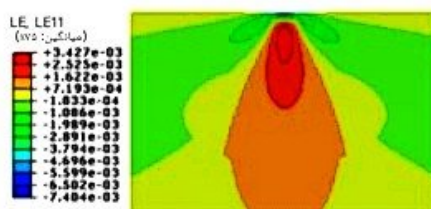
(الف)



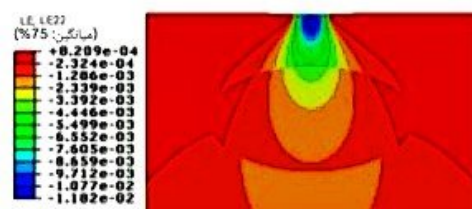
(ب)

شکل ۴. نقشه کانتور توزیع جابجایی یک گنجایش تماس در یک نیم صفحه. (الف) نقشه کانتور توزیع

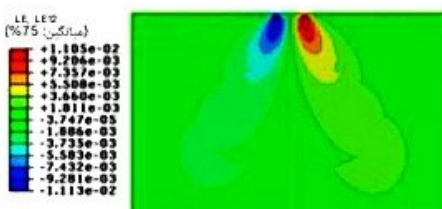
U_1 ؛ (ب) نقشه کانتور توزیع U_2 .



(الف)



(ب)



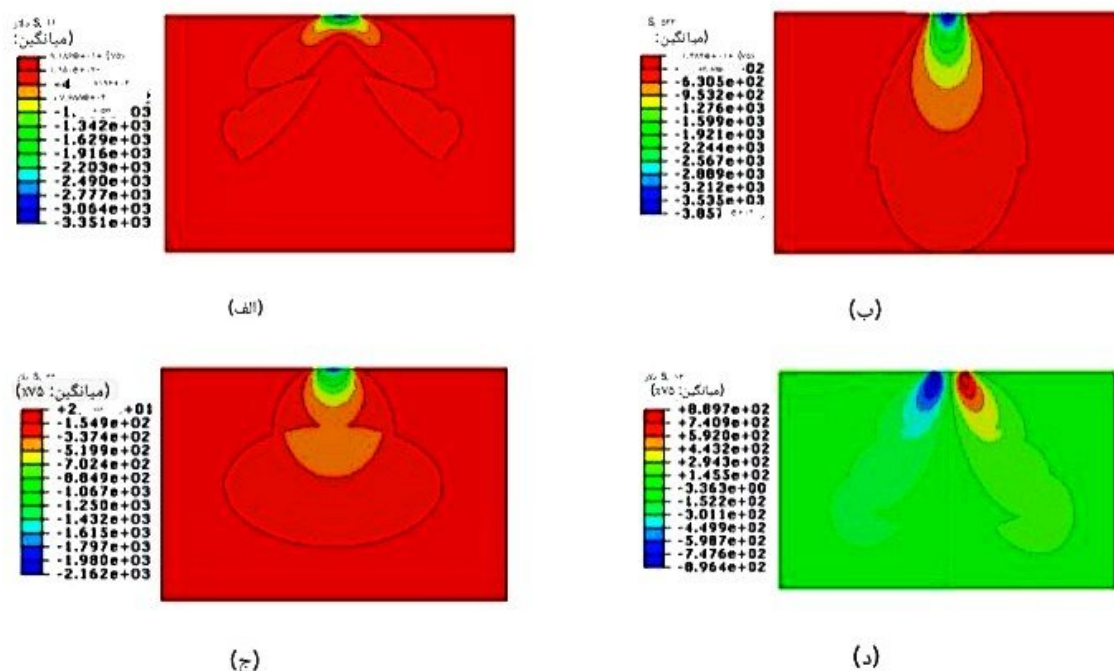
(ج)

شکل ۵. نقشه کانتور توزیع کرنش ناشی از تماس در

یک نیم صفحه. (الف) نقشه کانتور توزیع ϵ_x ؛

(ب) نقشه کانتور توزیع ϵ_{22} ؛ (ج) نقشه

کانتور توزیع ϵ_{62} .



شکل 6. نقشه کانتور توزیع تنش ناشی از تماس-گنجانش در یک نیم صفحه. (الف) نقشه کانتور توزیع σ_{11} ؛ (ب) نقشه کانتور توزیع σ_{22} ؛ (ج) نقشه کانتور توزیع σ_{33} ؛ (د) نقشه کانتور توزیع σ_{12} .

4. نتیجه گیری

نظریه تماس هرتز معمولاً برای مسائل تماس غیرهم شکل استفاده می شود. در این مقاله، ابتدا کاربرد نظریه هرتز در مسائل تماس غیرهم شکل تأیید شده و محدوده کاربرد آن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که کاربرد نظریه هرتز زمانی که ضریب شعاع انحناى شیار بزرگتر از 0.55 باشد، مناسب تر است. علاوه بر این، مدل تماس-گنجانش کوپل شده با استفاده از تحلیل اجزای محدود بررسی شده و توزیع میدان های الاستیک و برهمکنش های بین تماس و ناخالصی ارائه شده است.

تشکر و قدردانی

این کار توسط صندوق های تحقیقات بنیادی برای دانشگاه های مرکزی (شماره 2020CDJ-LHZZ-067) و برنامه علوم و فناوری شهر چونگ کینگ (شماره cstc2020jcyjmsxmX0850) پشتیبانی می شود.

منابع

- [1] جانسون کی ال، 1985، مکانیک تماسی (کمبریج: انتشارات دانشگاه کمبریج)
- [2] پرسون ای، 1964، رساله دکتری، گوتبورگ، سوئد: چالمرز، تکنیسکا
- [3] هو جی پی و هیلز دی ای، 2001، پی. آی. مکانیک، مهندسی، سی-جی. ام ای سی. 639-629: (6)215.
- [4] سیاوارلا ام و دکوزی پی، 2001، مجله بین المللی سازه های جامدات. 4523-4507: (26)38.
- [5] سیاوارلا ام و دکوزی پی، 2001، مجله بین المللی جامدات، 4533-4525: (26)38.
- [6] باربر جی آر، 1992، انتشارات اسپرینگر هلند، 749.
- [7] لیو اس و وین سی دلیو، 2012، مجله بین المللی جامدات، 1374-1365: (11)49.
- [8] لیو اس، 2013، تربیو تی. 878-867: (5)56.