بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

موضوع:

طراحی مفصل کامپلینت لولایی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر حمیدرضا محمدی دانیالی

اساتید مشاور:

جناب آقای دکتر علیرضا فتحی، مهندس سید مجتبی واردی کولایی

نام دانشجو:

علیرضا عبدی حمزه کلائی

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم،

تقدیم به روح پاک مادرم،

که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

تقدیم به پدر عزیزم،

او که توانش برفت تا به توانی برسم و مویش سپید گشت تا سپید روی بمانم

تقدیم به همسر مهربانم،

او که نشانه لطف و عطوفت الهی در زندگی و امید بودن من است

تقدیم به پدر و مادر همسرم،

آنان که مرا صمیمانه در این راه یاری نمودند.

تشکر و قدردانی:

با سپاس بیکران و شکر بی انتها به درگاه ذات اقدس الهی، که توفیق انجام این رساله را به بنده حقیر داد و با حمد و ثنای او که هر قدر زیاد باشد، باز در مقابل لطف او اندکی بیش نیست.

واجب می دانم سپاس فراوان خود را نثار استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر محمدی دانیالی بنمایم که بحق در طول این دوره تحصیلی و تدوین پایان نامه از هیچ کوششی دریغ نورزیدند.

بر خویش لازم می دانم از مشاوران محترم جناب آقای دکتر علیرضا فتحی و مهندس واردی و سایر اساتید بخش مهندسی مکانیک که از آن ها در موارد مختلف، کسب علم و تجربه نمودم تشکر نمایم.

از خانواده ام که موجبات تحصیل و پیشرفت تا این مرحله را برایم فراهم نمودند، حامی ام بودند و زحمات مرا متحمل شدند قدردانی می نمایم و از خداوند رحمان و رحیم عزت، سربلندی و طول عمر بابرکت برای همه آنان خواستارم.

از دوستان عزیزم که در این دوران راهنما و همدم بودند، صمیمانه قدردانی می کنم و موفقیت های فراوان در تمام مراحل زندگی برای همه آنان خواستارم.

چکیده

در این پروژه از نوعی جدیدی از مفاصل تحت عنوان مفاصل انعطاف پذیر(کامپلینت) استفاده خواهد شد که شامل یک یا چند عضو انعطاف پذیر می باشند. به دلیل پیشرفته تر بودن این مفاصل، کاربردهای آنها روز به روز در حال گسترش است. در بسیاری از موارد، استفاده از این مفاصل مزیت های بسیاری مانند راحتی ساخت، کاهش قیمت ساخت، و دقت عملکرد بالا در پی دارد. یکی از مهم ترین کاربرد های این مفاصل که هدف اصلی این پروژه است، از بین بردن و یا کاهش لقی و اثرات مخرب آن می باشد. به دلیل اینکه مفاصل کاملاً کامپلینت دارای محدودیت های فراوانی هستند، در این رساله با ایده گرفتن از نحوه عملکرد این مفاصل، به معرفی یک مفصل جدید کامپلینت می پردازیم که اثرات لقی را کاهش می دهد و همچنین دارای محدودیت های کمتری نسبت به مفاصل کاملاً کامپلینت می باشد. برای درک مزیت های این مفصل پیشنهادی، آن را با مفصل معمولی مقایسه خواهیم کرد و نشان می دهیم مکانیزمی که از این مفصل استفاده می کند، نسبت به مکانیزمی با مفصل معمولی، رفتاری نزدیک تر به یک مکانیزم ایده آل دارد. در تحلیل این مفصل از روش المان محدود و بطور خاص از نرم افزار ABAQUS استفاده می شود.

کلمات کلیدی: مفاصل کاملینت، مکانیزم های کامپلینت، مکانیزم چهار میله ای، اثرات لقی، روش المان محدود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱-۱ فصل اول- مقدمه ۲

۱-۲ مکانیزم ٤

۱-۲-۱ علل ایجاد انحراف یا خطا در یک مکانیزم ٥

۱-۳ لقی ٦

۱-۳-۱ کارهای انجام شده در زمینه لقی ۷

۱-۴ مکانیزم های انعطاف پذیر (کامپلینت) ۸

۱-۴-۱ کاربرد مکانیزمهای انعطاف پذیر (کامپلینت) ۹

۱-۵ مفاصل انعطاف پذیر(کامپلینت) ۱۱

۱-۶ هدف پروژه ۱۱

۲- فصل دوم- مکانیزم انعطاف پذیر (کامپلینت) ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۳

۲-۲ تقسیم بندی مکانیزم های کامپلینت ۱٤

۲-۳ مزیت های مکانیزم‌های کامپلینت ۱٦

۲-۴ معایب مکانیزم‌های کامپلینت ۱۸

۲-۵ سابقه تاریخی ۲۰

۲-۶ مدل شبه جسم صلب ۲٤

۲-۷ معرفی چند مفهوم کاربردی مفاصل کامپلینت ۲٥

۲-۷-۱ خمیدگی مارپیچ ۲٥

۲-۷-۲ مکانیزم های انعطاف پذیر تماسی ۲٦

۳-فصل سوم- فرمولاسیون ۳٤

۳-۱ مکانیزم تولید مسیر ۳٤
۳-۲ تحلیل مکانیزم چهارمیله ای بدون لقی ۳٤
۳-۳ مقدمه ای بر المان محدود ۳٦
۳-۳-۱ معرفی المان محدود ۳٦
۳-۳-۲ ویژگی اصلی المان محدود ۳۷
۳-۳-۳ نحوه عملکرد نرم افزار المان محدود ۳۹
۴- فصل چهارم - نتایج ٤۲
۴-۱ مدل اولیه ٤۳
۴-۱-۱ مشکلات مدل اولیه ٤٥
۴-۲ تحلیل مسیر ٥۱
۴-۳ تحلیل سرعت ٥٤
۴-۴ تحلیل شتاب ٥٥
۴-۵ گشتاور ورودی ٥٦
۴-۶ تأثیر مفصل کامپلینت روی مفصل دیگر مکانیزم ٥٦
۴-۷ خلاصه فصل ٥۸
۵-فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات ٦۱
۵-۱ نتیجه گیری ٦۱
۵-۲ پیشنهادات ٦۲
منابع و مراجع ٦۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ تمایل شاخه های درخت به خم شدن در برابر نیروی باد	۲
شکل ۱-۲ نمودارهای (الف) نرم شونده و (ب) سخت شونده	۳
شکل ۱- ۳ یک مکانیزم معمول با لینک‌های صلب	۴
شکل۱-۴ نمونه‌هایی از مکانیزم‌های غیر یکپارچه الف) انبر قفلی ب) پیستون موتور	۵
شکل ۱-۵ وجود لقی و اثرات آن در مفصل معمولی	۷
شکل ۱-۶ چند نمونه از انواع تجاری مکانیزم های کامپلینت	۹
شکل ۲-۱ دو نمونه از مکانیزم‌های کامپلینت الف) انبر یکپارچه ب) مکانیزم راهنما کننده موازی	۱۳
شکل ۲-۲ طبقه‌بندی مکانیزم‌های کامپلینت	۱۵
شکل ۲-۳ الف) کلاج با ساختار یکپارچه ب) شکل از هم باز شده که نشان دهنده تعداد قطعات یک کلاج می‌باشد	۱۶
شکل ۲-۴ نمونه ای از کاهش تعداد قطعات در مکانیزم های کامپلینت در یک انبر	۱۷
شکل ۲-۵ نمونه ای از مکانیزم کامپلینت با دقت بالا	۱۷
شکل ۲-۶ معیار طراحی مفاصل کامپلینت	۲۰
شکل ۲-۷ نمونه ای از کمان اولیه	۲۱
شکل ۲-۸ طراحی منجنیق توسط لئوناردو داوینچی	۲۱

شکل ۲-۹ دو نمونه از اعضای انعطاف پذیر جدید ۲۲

شکل ۲-۱۰ مفاصل کامپلینت ۲۳

شکل ۲-۱۱ یک مدل شبه جسم صلب، الف) مدل سینماتیک و ب) تغییر شکل بزرگ ۲۴

شکل ۲-۱۲ تشریح مدل PRBM یک مکانیزم چهارلینکی ۲۵

شکل ۲-۱۳ خمیدگی مارپیچ ۲۵

شکل ۲-۱۴ نمونه هایی از مفاصل انعطاف پذیر تماس غلتشی ۲۷

شکل ۲-۱۵ نمونه ای از مفصل انعطاف پذیر تماس غلتشی یکپارچه ۲۷

شکل ۲-۱۶ (الف) تیر معادل آن با یک گشتاور وارده ، (ب) تیر مقید شده بوسیله سطح تماسی ۲۹

شکل ۲-۱۷ استفاده از تماس در قسمتی از طول یک تیر تحت خمش ۳۰

شکل ۲-۱۸ نمونه ای از مفصل با تماس جزئی ۳۰

شکل ۲-۱۹ نمایش قسمت های یک تیر با تماس جزئی ۳۱

شکل ۲-۲۰ رفتار معادل تیر خمیده با شعاع ثابت ۳۲

شکل ۲-۲۱ مدل شبه جسم صلب برای قسمت بی تماس تیر خمیده ۳۲

شکل۳-۱ مکانیزم چهارمیله ای تولید مسیر ۳۴

شکل ۴-۱ مکانیزم چهارمیله ای معمولی دارای لقی ۴۳

شکل۴-۲ مفصل لق ۴۴

شکل۴-۳ نمونه ابتدایی مفصل ترکیبی ۴۵

شکل۴-۴ عضو انعطاف پذیر ۴۵

شکل۴-۵ نمونه هایی از پروفیل های تست شده ۴۶

شکل ۴-۶ پروفیل نهایی ۴۶

شکل ۴-۷ پروفایل نهایی عضو کنترلی با ابعاد ۴۷

شکل ۴-۸ مکانیزم مورد آزمایش با ابعاد ۴۸

شکل ۴-۹ محدوده دوران مفصل مورد نظر ۴۸

شکل ۴-۱۰ تست عضو کنترلی (الف) کشش و دوران (ب) فشار و دوران ۴۹

شکل ۴-۱۱ مفصل ترکیبی کامل شده ۴۹

شکل ۴-۱۲ مشخص کردن مفاصل و نقطه هدف ۵۰

شکل۴-۱۳ نمودار مسیر نقطه هدف در سه حالت ایده آل، معمولی، و کامپلینت ۵۱

شکل۴-۱۴ بزرگ نمایی نمودار مسیر ۵۲

شکل۴-۱۵ بزرگ نمایی نمودار مسیر ۵۲

شکل۴-۱۶ نمودار سرعت نقطه هدف در مکانیزم (الف) ایده آل (ب) معمولی (ج) کامپلینت ۵۳

شکل ۴-۱۷ نمودار سرعت در سه حالت ایده آل، لق، و کامپلینت ۵۴

شکل ۴-۱۸ نمودار شتاب در سه حالت ایده آل، لق، و کامپلینت ۵۵

شکل ۴-۱۹ مقایسه گشتاور ورودی در دو حالت معمولی و کامپلینت ۵۶

شکل ۴-۲۰ جابه جایی مرکز قسمت داخلی نسبت به خارجی در الف) مکانیزم کامپلینت ب) مکانیزم معمولی ۵۸

فصل اول

مقدمه

۱- فصل اول- مقدمه

۱-۱ مقدمه

مقاومت و انعطاف پذیری در یک سازه، دو خصوصیت به نظر متضاد هم هستند که در طبیعت با هم در تعادلند. این دو همواره اجزای انکار ناشدنی در طراحی می باشند. برخلاف تکنیکهای مهندسی که معمولاً از خصوصیت انعطاف پذیری بدلیل مشکلات طراحی و ساخت در طرحهای خود اجتناب می کنند، طبیعت روشهایی هوشمندانه جهت به تعادل کشیدن این دو خصوصیت و تولید سیستمهای بیومکانیکی ارائه می دهد. بعنوان مثال درختان همچنان که بلند و تنومند می شوند، قادرند در برابر بادهای شدید براحتی خم شده و با کاهش نیروی درگ[1] ، باد را سپری نمایند. این بدلیل این حقیقت است که در طبیعت، اجزاء از موقعیت تعادل خود منحرف می شوند تا به کمترین سطح انرژی برسند. [۱].

شکل ۱-۱ تمایل شاخه های درخت به خم شدن در برابر نیروی باد

1- Drag Force

در سال ۱۹۸۸ زیست شناسی به نام استفن وگل[1] ادعا کرد بسیاری از مخلوقات بدلیل اینکه در محیط کارایی بهتری داشته باشند، از نوعی انعطاف پذیری غیرخطی بهره می برند که معمولا بدلیل غیرخطی بودن خصوصیات ماده آن می باشد. سطح زیر منحنی تنش-کرنش که با نام چگالی انرژی کرنشی می شناسیم بصورت مستقیم با سختی سازه در ارتباط است و نرمی[2] یک سازه معکوس سختی[3] آن سازه می باشد. وقتی در طبیعت لازم باشد مقدار زیادی انرژی ذخیره سازی شود، نمودار تنش-کرنش بصورت نمودار نرم شونده[4] می باشد که در آن میزان بیشتری مساحت در زیر منحنی تنش -کرنش وجود دارد. تاندون بدن انسان که ماهیچه را به استخوان متصل می کند از این رابطه تنش-کرنش استفاده می کند. حتی در زمانی که جابجایی کمی وجود دارد، تاندون ها قادرند در حین حرکت میزان انرژی زیادی را در خود ذخیره کنند و سپس در سیکل بعدی راه رفتن آنرا آزاد نمایند. برعکس در مواجهه با انتشار ترک، طبیعت متمایل به ذخیره سازی میزان کمتری انرژی می باشد. بنابراین نمودار تنش-کرنش بصورت نمودار سخت شونده[5] می باشد که در آن مساحت زیر منحنی کمتر است.

(ب) (الف)

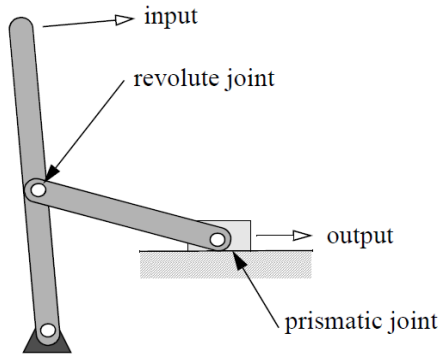
شکل ۱-۲ نمودارهای (الف) سخت شونده و (ب) نرم شونده

1- Steven Vogel
2- Compliance
3- Stiffness
4- Softening
5- Hardening

۱-۲ مکانیزم[1]

به ترتیب قرار گرفتن اجزای یک ماشین که حرکت خاصی را تولید کنند، مکانیزم گفته می شود [۳]. یکی از انواع مکانیزم ها، مکانیزم صفحه ای با مفاصل چرخشی است که به دلیل اطمینان از عملکردشان، کاربرد وسیعی در ماشین ها دارند، در اینگونه مکانیزم ها، عضو[2] های مکانیزم نیروهای متفاوتی را به یکدیگر وارد می کنند و در قسمت های مختلف مهندسی مکانیک برای انتقال حرکت و انرژی از یک یا چند ورودی به یک یا چند خروجی، کاربرد گسترده ای دارند [۴].

همانطور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، یک مکانیزم متعارف با لینک‌های صلب از مفاصل مختلفی از جمله کشویی و دورانی برای تولید حرکت خطی و دورانی و انتقال آن استفاده می‌کند.

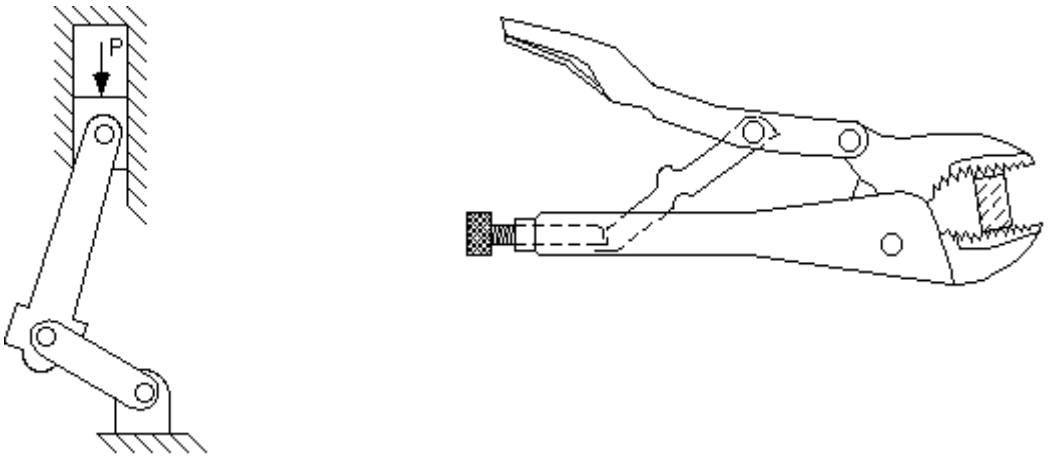


شکل ۱-۳ یک مکانیزم معمول با لینک‌های صلب

در گذشته مکانیزم‌های با پیکرهٔ صلب شامل لینک‌های صلبی بودند که توسط مفصل‌ها با قابلیت حرکت به هم وصل می‌شدند، به عنوان مثال پیستون موتور در شکل (۱-۴ ب) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، ورودی خطی تبدیل به خروجی چرخشی شده است و نیروی ورودی تبدیل به گشتاور در خروجی شده

1 -Mechanism
2- link

است. همچنین، در شکل (۱-۴ الف) یک انبر قفلی نشان داده شده است که این مکانیزم انرژی را از ورودی به خروجی جابجا می‌کند. بخاطر اینکه انرژی بین ورودی و خروجی بدون تغییر نگهداری می‌شود (از اصطکاک صرفه نظر شود)، انرژی خروجی ممکن است که از انرژی ورودی خیلی بزرگتر باشد اما جابجایی خروجی خیلی کوچکتر از جابجایی ورودی می‌باشد. در مکانیزم‌های مشابه ممکن است سازه شامل رابط‌های صلب در محل اتصال مفصل‌ها باشد، ولی لینک‌ها اجازه حرکت‌های وابسته ندارند در نتیجه به خاطر اینکه سازه حرکت ندارد توانایی انجام کار ندارد.



(ب)

(الف)

شکل۱-۴ نمونه‌هایی از مکانیزم‌های غیر یکپارچه الف) انبر قفلی ب) پیستون موتور

۱-۲-۱ علل ایجاد انحراف یا خطا در یک مکانیزم

معمولاً از دو علت به عنوان علل ایجاد خطا در یک مکانیزم نام برده می شود.

۱- خطای ابعادی[1]: خطای ابعادی همانطور که از نامش مشخص است، به تکنولوژی ساخت و دقت ابعاد عضوهای مکانیزم و ... مربوط می شود [۵].

۲- لقی[2] مفصل: در ساده سازی های هندسی لقی مفصل را نادیده می گیرند ولی در عمل به دلایلی مانند حرکت نسبی بین دو عضو متصل بهم و...، لقی مفصل در یک مکانیزم اجتناب ناپذیر است [۵].

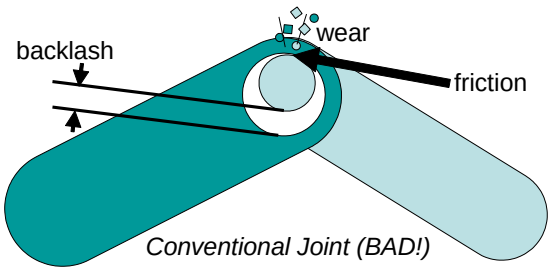
۱-۳ لقی

یکی از انتظاراتی که از یک روبات باید داشته باشیم دقت در عملکرد آن است. در برخی از کاربردهای بسیار دقیق از یک روباتی که در ظاهر ابعاد بزرگی مثل طول عضوهای در حد ۰/۵ تا ۱ متر دارد دقت زیادی در حدود دهم میلی‌متر انتظار می‌رود در نتیجه فرآیندهای ساخت اجزای روبات مثل عضوها و یا از آن حساس‌تر، مفاصل، که دارای اجزای پیچیده‌تری هستند، باید با دقت زیاد و استفاده از تکنیک‌های مدرن صورت پذیرد. اگر چه در این زمینه علم پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است و روش‌های ساخت با دقت زیادی ارائه شده‌اند، ولی با این حال وجود تلورانس‌هایی بین اجزای متصل به هم اجتناب ناپذیر است. در نتیجه‌ی وجود این فواصل بسیار اندک بین اجزای روبات امکان دارد تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در موقعیت نقطه‌ی کارکرد روبات حاصل گردد که با انتظار ما از دقت زیاد روبات مغایرت دارد. علاوه بر ایجاد خطا در دقت عملکرد روبات وجود لقی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد شوک و ارتعاشات و صدا در هنگام کارکرد مکانیزم در مفاصل می‌شود.

اتصال‌دهنده‌های مکانیکی صلب، از قبیل: لولاها، لغزنده‌ها، مفاصل یونیورسال و مفاصل گوی و کاسه‌ای (کروی) درجات آزادی سینماتیکی مختلفی را به اجزای در حال اتصال می‌دهند. لقی بین دو بخش در حال اتصال در مفصل صلب، سبب پس‌زنی در مونتاژ مکانیکی می‌شود. همچنین در همه مفاصل فوق، یک حرکت نسبی بین دو جسم وجود دارد

1- Dimensional tolerance
2- Clearance

که موجب اصطکاک، پس از آن سایش و در نتیجه افزایش لقی می‌شود. یک زنجیره مکانیکی دارای چنین مفاصلی، خطاهای ناشی از پس‌زنی و سایش را ترکیب می‌کند که نتیجه آن دقت و تکرارپذیری ضعیف این مکانیزم‌ها است (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵ وجود لقی و اثرات آن در مفصل معمولی

در سال‌های اخیر، محققان در تلاش بوده‌اند تا به شناخت کاملی از رفتار مکانیزم با توجه به وجود لقی در مفاصل دست یابند [۸-۶]. در واقع تاثیر وجود لقی بر دقت مکانیزم یکی از موضوعات مهمی است که همواره مورد توجه بوده است.

در حالت سینماتیکی، حرکت یک مکانیزم چهار میله ای ایده ال (یک درجه آزادی) تنها با یک ورودی اعمال شده، مقید می شود ولی اگر لقی مفصل لحاظ شود، حرکت مکانیزم در حالتی که تنها یک ورودی به آن اعمال شود، نامقید خواهد شد. چون هیچ قیدی وجود ندارد که محل اتصال دو عضو که در یک مفصل لق به هم متصل هستند را مشخص کند [۹].

۱-۳-۱ کارهای انجام شده در زمینه لقی

در بخش ادبیات موضوع به تاریخچه، مدل کردن و تحقیقات مربوط به لقی مفصل می پردازیم. همانطور که ذکر شد، لقی در مفاصل یک مکانیزم به علل سائیدگی و خوردگی مفاصل بعد از یک دوره معین کاری، مونتاژ و اجازه حرکت

نسبی بین دو عضو متصل بهم و ... اجتناب ناپذیر است. در زمینه بررسی لقی مفصل های لولایی صفحه ای اولین بار موریتا، فوروهاشی و ماتسورا مدلی را با فرض تماس دائم بین دو عضو متصل بهم ارائه کردند [۱۰]. سپس از این مدل در آنالیز و تحلیل خطای ناشی از وجود لقی مفصل در مکانیزم چهار میله ای برای مسایل تولید مسیر و تولید تابع استفاده شده است[۲۷-۱۱]. تی سای و لای [۲۱] یک روش مناسب برای تحلیل زاویه انتقال در حضور لقی پیشنهاد کردند و در مثالی از تحلیل مکان مکانیزم چهار میله ای با استفاده از معادلات حلقه بسته مکانیزم آوردند. کلهاتکار و یانیک [۲۸] بیشترین مقدار انحراف خروجی به علت لقی را محاسبه کردند، بیشترین انحراف زمانی ناشی می شود که زاویه انتقال در بدترین وضعیت خود باشد. اینوسنتی [۲۴] اثر لقی مفصل را با استفاده از قانون کار مجازی در مکانیزم های فضایی تعیین کرد. ونانزی و پرنتی کستلی [۲۳ و ۲۵] تکنیک جدیدی را برای اثر سینماتیکی لقی مفصل روی انحراف در جایگذاری و چرخش عضوهای مکانیزم های فضایی پیشنهاد دادند. این تکنیک نیز بر مبنای اصل کار مجازی بود که در آن اندازه لقی مفصل بسیار ناچیز در نظر گرفته می شد. از طرفی در کارهای طراحی مکانیزم چهار میله ای تولید مسیر و تولید تابع، اثر لقی را نادیده یا به عنوان خطای ابعادی در نظر گرفته اند [۳۶-۲۹].

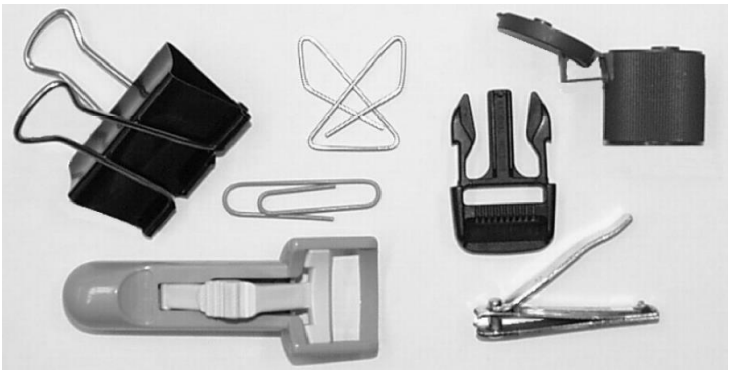
۱-۴ مکانیزم های انعطاف پذیر (کامپلینت)

سختی و نرمی، دو خصوصیت معکوس در سیستم های ساخته دست بشر می باشند که در سازه های متداول بصورت جدا طراحی و مورد استفاده قرار می گیرند. مکانیزمهای متداول نیرو و جابجایی را از طریق اعضای صلب (سختی زیاد)، مفاصل (نرمی زیاد) و فنرهای خود منتقل می کنند. بدلیل اینکه سالهاست در زمینه تئوری و کاربرد آنها تحقیق بعمل آمده، روابط مربوط به آنها پیشرفت بسیار خوبی داشته است. طی دو دهه گذشته محققان با گنجاندن نرمی در تئوریهای طراحی مکانیزمها، به سیستم های جدیدی بنام مکانیزمهای انعطاف پذیر دست یافته اند که نیرو و جابجایی را از طریق اعضای قابل انعطاف خود منتقل می کنند. طبق تعریف یک مکانیزم انعطاف پذیر سازه ایست متشکل از

حداقل یک عضو که بصورت محسوس در مقایسه با دیگر اعضای مکانیزم از خود تغییر شکل انعطاف گونه نشان می دهد [۳۷]. برخلاف مکانیزمهای متداول که محرک بر روی مفاصل مکانیزم وارد می شود، در این مکانیزمها تحریک بر اساس انعطاف پذیری اعضای تغییر شکل پذیر آنها صورت می گیرد. بنابراین یک مکانیزم انعطاف پذیر سختی یک سازه و قابلیت تحرک یک مکانیزم را داراست. بصورت ایده آل چنین مکانیزمهایی یکپارچه و بدون مفصل می باشند [۳۷].

۱-۴-۱ کاربرد مکانیزمهای انعطاف پذیر (کامپلینت)

محققان از خصوصیت نرمی موجود در این مکانیزمها استفاده های فراوانی می کنند. از آنجایی که هزینه تمام شده این مکانیزمها کمتر بوده و شیوه ساخت ساده تری نیز دارند، کاربردهای آنها در زندگی روزمره روز به روز در حال افزایش است. چند نمونه از انواع تجاری این قطعات را می توان در شکل (۱-۶) مشاهده نمود [۳۸].



شکل ۱-۶ چند نمونه از انواع تجاری مکانیزم های کامپلینت

برای کاربردهایی که نیازمند جابجایی‌ها و دوران‌های کوچک است، مکانیزم‌های کامپلینت دارای مزایای بسیاری در مقایسه با مکانیزم‌های صلب معمول هستند. از مزایای اعضای خمشی (لینک‌های و مفاصل کامپلینت) می‌توان به حذف اصطکاک، سایش و پس‌زنی موجود در مفاصل مکانیکی معمول، سادگی مونتاژ این مکانیزم‌ها، کاهش وزن نسبت به مکانیزم‌های معمولی، ساخت آسان‌تر، قابلیت ارتجاع بهتر در برابر بار بیش از حد و جذب شوک و مزایایی با توجه به انرژی الاستیک ذخیره شده در مکانیزم برای حذف اجزایی همانند فنرها اشاره کرد.