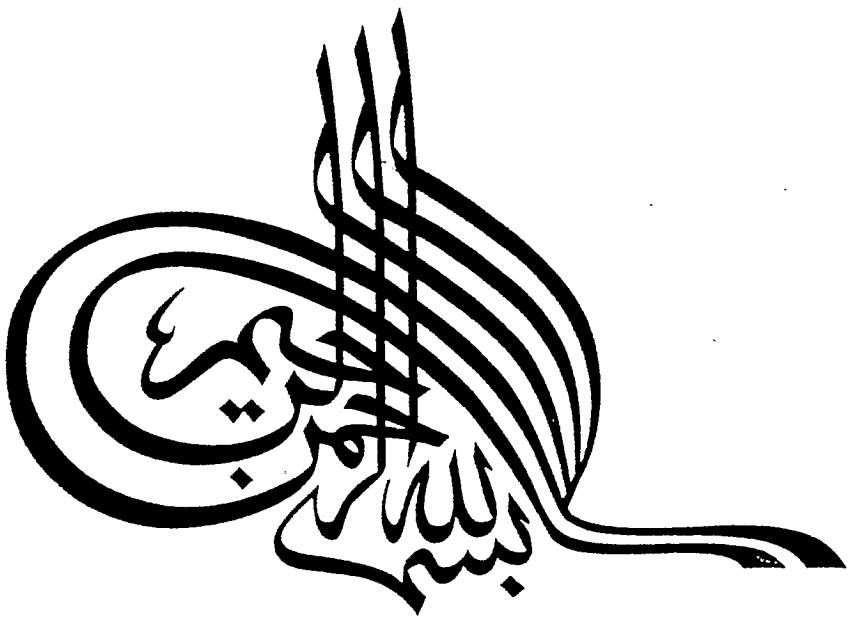
سازمان اطلاعات و امنیت کشور جمهوری اسلامی ایران



۴۰۷۸۵

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مواد

بهسازی مذاب فولادهای پرکربن کم آلیاژ

سازمان اطلاعات و مدارک علمی ایران
شعبه مرکزی

پایان نامه کارشناسی ارشد شناسایی و انتخاب مواد

۱۳۸۱ /۴/ ۳۰

حسین دادخواه

۴۰۷۸۵

استاد راهنما
دکتر محمود مرآتیان

استاد مشاور
دکتر فخرالدین اشرفی زاده

۱۳۷۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

پایان نامه کارشناسی‌ارشد رشته شناسایی و انتخاب مواد آقای حسین دادخواه

تحت عنوان

بهسازی مذاب فولادهای پرکربن کم آلیاژ

در تاریخ ۷۹/۱۰/۱۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب قرار گرفت.

۱ ـ استادراهنمای پایان‌نامه : دکتر محمود مرآتیان

۲ ـ استاد مشاور پایان‌نامه: دکتر فخرالدین اشرفی‌زاده

۳ ـ استاد داور ۱: دکتر محمدرضا ابوطالبی

۳ ـ استاد داور ۲: دکتر بهزاد نیرومند

۴ ـ مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر احمد ساعتچی

تشکر و قدردانی

حمد و ثنای بی حد خداوندی را سزاست که به نور معرفت و دانش ، قلـوب و دیـده بندگـانش را روشن نمود و پیامبران الهی را به حق در میان خلق برگزید تا رشته هدایت انسان را در دست گیرند و او را از بی راهه ها و ظلمات جهل و نادانی به منبع فیاض علم و آگاهی رهنمـون گردنـد . شـکر و سـپاس وافر شایسته اساتید و معلمان ارجمندی است که شمع وجود خویش را در تداوم بخشیدن به مسیر انبیـاء الهی ذوب نمودند و متعلمان خود را در این طریق صعب دسـتگیری کـرده و از بـذل هـر آنچـه در کـف داشتند دریغ نکردند .

مجموعه حاصل ، حاصل زحمات و همکاریهای بسیار کسانی بوده است که جا دارد از آنان سپاسگزاری شود. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمود مرآتیان که در نهایت دوستی و بزرگواری در تمام مراحل انجام این تحقیق مرشد و راهنمایم بوده اند صمیمانه سپاسـگزارم . همچنیـن از زحمـات اسـتاد ارجمنـد جناب آقای دکتر فخرالدین اشرفی زاده کمال تشکر دارم . از مدیریت محترم شرکت گداز صنعت جناب آقای مهندس فریدون فریدنی ، به خاطر همکاری در انجام آزمایشات در شرکت گداز صنعت ، مسئولین آزمایشگاههای متالوگرافی ، مکانیکی ، میکروسکوپ الکترونی ، اشعه ایکـس و کارگـاه پـروژه تشـکر و سپاسگزاری می گردد .

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که همواره مشوق و پشتیبان من بوده اند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده ۱

فصل اول:خصوصیا ت غلتکها و رینگهای نوردگرم فولاد پرکربن کم آلیا ژ

مقدمه ۲

۱-۱- مختصری ازتاریخچه غلتکها ۳

۱-۲- انواع غلتکها ۴

۱-۳- غلتکهای چدنی ۴

۱-۳-۱- غلتکهای چدن پرکروم ۵

۱-۳-۲- غلتکهای چدن تبریدی ۵

۱-۳-۳- غلتکهای چدن تبریدی باگرافیت کروی ۵

۱-۳-۴- غلتکهای چدن داکتیل بازمینه پر لیتی، بینیتی‌ومارتنزیتی ۶

۱-۳-۵- غلتکهای چدن داکتیل بازمینه پر لیتی مولیبدن دار نر ماله شده ۶

۱-۴- غلتکهای فولادی ۷

۱-۴-۱-غلتکهای ریختگی فولادی ۷

۱-۴-۲- غلتکهای فولاد پر کربن کم آلیاژ ۷

۱-۴-۳- غلتکهای فولادابزاری تند بر ۸

۱-۵- تأ ثیر عناصر آلیاژی پرخواص فولاد ۸

۱-۶- اثرات کربن درفولادها ۸

۱-۷- اثرات عنا صر آلیاژی دیگر برخصوصیات فولادها ۱۰

۱-۷-۱- عناصر آلیاژی تشکیل دهنده کاربید ومحلول درفاز فریت ۱۲
۱-۷-۲-عناصر تشکیل دهنده کاربید ۱۲
۱-۷-۳- تأ ثیر عناصر آلیاژی بر روی سینتیک استحا له های نفوذی در فولاد ۱۳
۱-۷-۴- تأ ثیر عناصر آلیاژی بر درشت شدن دانه های آستنیت ۱۶
۱-۷-۵- تأ ثیر عناصر آلیاژی بر سختی پذیری ۱۷
۱-۷-۶- خلاصه ای ازعمده ترین نقش عناصر آلیاژی درفولادها ۱۷
۱-۸- تأ ثیر عناصر آلیاژی برخصوصیات غلتکها و رینکهای فولادی ۱۸
۱-۹-بررسی های ریز ساختاری فولادهای پر کربن کم آلیاژ ۱۸
۱-۱۰- زمینه ۲۰
۱-۱۱- کاربید ۲۰
۱-۱۱-۱- مورفولوژی ونحوه توزیع کاربیدها در سا ختار ریختگی ۲۲
۱-۱۱-۲- عوامل مؤ ثر بر بهبود مور فولوژی و توزیع یکنواخت کاربیدها ۲۳
۱-۱۲- آخال ۲۴
۱-۱۳- کاربرد فولادهای پرکربن کم آلیاژ ۲۶

فصل دوم : عملیات مذاب روی فولادها

مقدمه ۲۸
۲-۱- جوانه زاها وتأثیربرساختارمیکروسکپی ۲۹
۲-۱-۱- مشخصات جوانه زای مناسب ۳۰
۲-۱-۲- تأثیر زمان تماس مواد جوانه زا با مذاب ۳۰
۲-۲ - عملیات بهسازی در فولادها ۳۱
۲-۳- مکانیزم بهسازی در فولادها ۳۱
۲-۳-۱- تأثیرعناصرآلیاژی روی شکل فازثانویه ۳۳
۲-۳-۲- انواع بهسازها ۳۴
۲-۴- اثرات بهسازی درفولادها ۳۵
۲-۴-۱- تأثیربهسازی برسختی پذیری فولادها ۳۵
۲-۴-۲- تأثیربهسازی بر استحاله آستنیت به پرلیت ۳۹
۲-۴-۳- تأثیر بهسازی بر استحاله آستنیت به بینیت ۴۱
۲-۴-۴- تأثیربهسازی بر استحاله آستنیت به مارتنزیت تیغه ای ۴۲
۲-۴-۵- تأثیربهسازی برتافنس شکست وانرژی ضربه فولادها ۴۳

۲-۴-۶- تأثیر بهسازی برآخال ۴۴
۲-۴-۷- تأثیر بهسازی بر تخلخل ۴۴
۲-۵- مثالهایی ازاثرات بهسازی درفولادها ۴۶
۲-۶- محدودیتهای استفاده ازعوامل بهساز درفولادها ۵۱
۲-۷- افزودن منیزیم به مذاب فولاد ۵۲

فصل سوم : مواد و روش تحقیق

۳-۱- تجهیزات و مواد مورد استفاده در آزمایشات بهسازی مذاب ۵۵
۳-۱-۱- کوره القایی بدون هسته ۵۶
۳-۱-۲- ساخت نمونه ۵۷
۳-۱-۳- سایر تجهیزات مورد نیاز برای ریخته گری ۵۸
۳-۲- تجهیزات مورد استفاده برای آزمایشات ریز ساختاری و آنالیزی ۵۹
۳-۲-۱- تجهیزات آماده سازی نمونه ها ۵۹
۳-۲-۲- میکروسکوپ نوری ۵۹
۳-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۰
۳-۲-۴- دستگاه پراش اشعه ایکس ۶۰
۳-۲-۵- کوانتومتر ۶۱
۳-۳- آزمایشات مکانیکی ۶۱
۳-۳-۱- آزمایش کشش ۶۲
۳-۳-۲- آزمایش ضربه ۶۳
۳-۳-۳- آزمایش سختی ۶۳
۳-۴- آزمایشات عملیات حرارتی ۶۳
۳-۴-۱- سیکلهای استفاده شده جهت تعیین سیکل عملیات حرارتی مناسب ۶۵
۳-۵- آزمایش اندازه گیری دانسیته ۶۵

فصل چهارم : نتایج و بحث

۴-۱- ترکیب شیمیایی رینگ مورد مطالعه ۶۶
۴-۲- انتخاب عامل بهساز مناسب ۶۹
۴-۲-۱- بررسی تأثیر بهسازهای مختلف بر ریز ساختار ۷۱
۴-۲-۲- انتخاب عامل بهساز مناسب ۷۲

۴-۳- زمان میرایی فروسیلیکومنیزیم ۷۳
۴-۴- مقدار بهساز ۷۷
۴-۵- مقایسه خواص نمونه های بهسازی شده و نشده در حالت ریختگی ۷۸
۴-۵-۱- خواص مکانیکی ۷۸
۴-۵-۲- خواص ریز ساختاری ۸۰
۴-۵-۳- تخلخل ۸۸
۴-۶- عملیات حرارتی ۹۳
۴-۷- مقایسه خواص نمونه های بهسازی شده و نشده در حالت عملیات حرارتی شده ۹۷
۴-۷-۱- خواص مکانیکی ۹۹
۴-۷-۲- بررسی های ریزساختاری ۱۰۱

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۱۰۶
۵-۲- پیشنهادات ۱۰۷
مراجع ۱۰۸
چکیده انگلیسی ۱۱۱

چکیده

فولادهای پر کربن کم آلیاژ به دلیل مقاومت سایشی مناسب در شرایط نورد گرم در ساخت غلتکها و رینگهای نورد گرم مقاطع به کار می رود.ریز ساختار این فولادها در حالت ریختگی (As cast) شامل شبکه های بسته کاربیدی در زمینه آستنیت ومقدارکمی مارتنزیت می باشد . این ریز ساختار بدلیل توزیع نامناسب کاربیدها درزمینه وهمچنین وجود آستنیت باقیمانده ،خواص مکانیکی و سایشی نامطلوب دارد . جهت بهبود این خواص می بایست ، شبکه های کاربیدی در زمینه حل و سپس به نحو مناسبی توزیع گردد .بعلاوه فاز آستنیت به فازهایی مانند پرلیت یا بینیت تبدیل شود . انحلال شبکه کاربیدی به دماهای بالا وزمانهای طولانی عملیات حرارتی نیاز دارد ضمن آنکه شبکه های کاربیدی به طور کامل حل نمی شوند . با انجام عملیات بهسازی (Modification) مذاب به کمک مواد بهساز ، می توان توزیع و مورفولوژی کاربیدها را در حالت ریختگی بهبود بخشید و عملیات حرارتی را در زمانهای کوتاه تر به نحو مطلوبی انجام داد .عملیات بهسازی علاوه بر تأثیر بر ریز ساختار و خواص مکانیکی اثرات مثبتی بر کنترل آخال و تخلخل های میکروسکپی دارد .

در این پژوهش ابتدا عملیات بهسازی فولادهای پر کربن کم آلیاژ با استفاده از سه نوع ماده بهساز مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و ترکیب بهینه انتخاب گردید . زمان میرایی ترکیب انتخاب شده بررسی گردید و خواص مکانیکی و ریز ساختاری نمونه های بهسازی شده و نشده در حالت ریختگی مورد مقایسه قرار گرفت . سپس سیکلهای متفاوت عملیات حرارتی جهت یافتن سیکل عملیات حرارتی مناسب انجام گردید .نمونه ها عملیات حرارتی شده و خواص مکانیکی و ریز ساختاری نمونه های بهسازی شده و نشده در حالت عملیات حرارتی شده مورد مقایسه قرار گرفته است . همچنین تأثیر عملیات بهسازی بر تخلخل بررسی شده است .

فصل اول

خصوصیات غلتکها ورینگهای نوردگرم فولا د پرکربن کم آلیاژ

مقدمه

تغییر فرم ماده نوردی توسط غلتکها صورت می پذیرد. این اجزاء از نورد در مقایسه با ماده نوردی می بایست سخت تر و در برابر تغیر شکل مقا ومتر باشند.

نقش کلیدی غلتکها و رینگها در فرایند نورد فلزات موجب گردیده تا سرمایه گذاریهای قابل توجهی در جهت تولید و بهبود کیفیت آنها اختصاص یابد.

اهمیت این مساله وقتی روشن تر می گردد که بدانیم درحال حاضر محصولا ت نورد شده تقریبا ۸۰ درصد تولید محصولا ت فولادی را تشکیل می دهند و غلتکها مهمتر ین ابزار در هر کارگاه نورد می باشند. مصرف غلتک سهم عمده ای را در هزینه های تولیدی یک واحد نورد دارد و بر طبق آمار ارائه شده مصرف غلتک برای هر تن محصولا ت نوردی فولاد از ۱ تا ۲/۵ کیلو گرم و بعبا رت دیگر متوسط ۳ الی ۵ دلار نوسان دارد. مصرف غلتک در یک خط نورد در مقایسه با قطعات وابزار دیگر گرایش سرمایه گذاری در جهت تولید و رقابت برای بهبود کیفیت آنها را توجیه می کند.

با توجه به گسترش روزافزون صنایع فولاد درکشور و اهمیت غلتکهای نورد در این صنایع و هزینه های ارزی بالایی که آنها به خود اختصاص می دهند، لزوم تولید آنها در داخل کشور بمنظورصرفه جویی ارزی امری محسوس بوده که دراین راستا از سالهای ۱۳۶۲ به بعد تلاشهای وسیعی در کارخانجات داخلی صورت گرفته است . بطوریکه هم اکنون درحدود۷۵ درصد ازغلتکهای نورد مورد استفاده در ذوب آهن اصفهان از کارخانجات سازنده داخلی تآمین می گردد.

غلتکهای نورد باید دارای ویژگیهای خاصی باشند . مهمترین ویژگی ها عبارتند از:

- مقاوم بودن بشکه وگردن غلتکها دربرابرتنشهای خمشی - پیچشی، برشی وگشتاورحاصل از نورد
- بالابودن سختی
- مقاوم بودن درمقابل ترکهای حرارتی
- بالابودن مقاومت در برابرقلوه کن شدن[1]
- گیرش کافی شمش بوسیله غلتکها ، مخصوصا" در مواقعی که فشردگی زیاد است.
- بالابودن کیفیت سطح ،این مسأله خصوصا" در تهیه محصول با کیفیت سطح بالا بسیار حائز اهمیت است [۱] .

گردآوری مجموعه این ویژگیها در یک غلتک تقریبا"مشکل به نظرمی رسد ولی باید سعی شود مشخصات فوق را با کنترل فرآیندهای ریخته گری و عملیات حرارتی درحد بهینه قرار داد.

دراین فصل ابتدا تاثیرعناصرآلیاژی برخواص فولادها وغلتکهای فولادی مورد بحث قرارگرفته سپس ریز ساختار فولادهای پرکربن کم آلیاژ که در ساخت غلتکهای نورد گرم بکار می روند بررسی شده است.

۱-۱- مختصری ازتاریخچه غلتکها

غلتکهایی که درابتدا مورد استفاده قرارمی گرفتند عمدتا" از جنس چدنهای خاکستری بوده که بدلیل ساختار میکروسکوپی تقریبا"۹۰ درصد پرلیت و۱۰ درصد گرافیت ، دارای سختی پایین (حدود۳۵ شور)و مقاومت سایشی پایین بودند. با ساخت غلتک درون قالبهای حاوی مبرد و افزایش سرعت سرد شدن ، برروی سطوح آنها مقدارتقریبی ۴۰ درصدکاربید آهن تشکیل می شد که سختی را تا ۶۰ شور افزایش و مقاومت به سایش را نیز بهبود می بخشید. البته هردونوع غلتک مزبور دارای استحکام مکانیکی کمی بوده(حدود۱۵۵ MPa)بنابراین جهت جلوگیری از شکست وخرد شدن برای تغییرشکلهای کوچک مورداستفاده قرارمی گرفتند. دراواسط قرن ۱۹ میلادی غلتکهای فولادی باکربن حدود۰/۵ درصدعرضه گردید.این نوع غلتکها با وجود داشتن استحکامی حدودا"سه برابربیشتراز غلتکهای چدنی

---

[1] - *Spalling*

(البته درغیاب گرافیت وکاربیدهای سوزنی)دارای سختی پـایین(حـدود ۳۰ شـور)بودنـد، بنـابراین از آنهـا درقفسه های اول نوردکه تغییر فرمها زیاد وسرعت تولید بالابود،استفاده می شد.

دراواخرقـرن ۱۹ میـلادی ،غلتکهـای فـولادی آهنگـری نیزعرضـه گردیدنـد،اینهـا مقـاومت بـه شکسـت وخردشدنشان بیش ازغلتکهای فولادی ریختگی بود ولی مقاومت به سایش آنها همچنـان درحدغلتکهـای ریختگی فولادی بود البته استحکام ومقاومت به سایش نیز با عملیات حرارتـی مناسـب ازقبیـل ریزکـردن دانه، آنیل کردن، نرمالیزه کردن وهمچنین بوسیله کنترل دقیـق ترکیـب شـیمیایی بـویژه نسـبت بـه کربـن، منگنزوکروم می توانڈ افزایش یابد. به هرحال امروزه طیف وسـیعی از غلتکهـای چدنـی وفـولادی همـراه باانواع عملکرد وسختی درنوردگرم وسرد فلزات مورداستفاده قرارمی گیرند[۱] .

۱-۲- انواع غلتکها

غلتکها عمدتا"براساس ترکیب شیمیایی وروش تولید معرفی می شوند دراین جـا غلتکهـای ریختگـی شامل غلتکهای چدنی وفولادی راشرح می دهیم [۱] .

۱-۳- غلتکهای چدنی

غلتکهای چدنی اغلب براساس عناصرآلیاژی ، ساخت و ویژگی تبرید طبقه بندی مـی گردنـد . عمـق محدوده تبرید شده تحت تأثیردوعامل ترکیب شیمیایی وروش ساخت می باشد، که این عمـق باعنـاصری نظیرگوگرد، کروم، وانادیم ومولیبدن افزایش و با وجودعناصری نظیرمنگنز، سیلیسیم وتا حد کمتری نیکل وکربن کـاهش مـی یـابد درناحیـه تـبریدی ،آهـن بـاکربن ترکیـب وتشـکیل سـمنتیت کـه خیلـی سـخت وسفیدرنگ می باشد ، می دهد. درمحدوده ای که آهن خیلی آهسته سردمی شـودوحالت تـبریدی نـدارد مقداری ازکربن محلول بصورت گرافیت رسوب نمـوده وچـدن بصـورت خاکسـتری مشـاهده مـی شـود. درغلتکهای چدن داکتیـل ،گرافیتهـای آزاد بـه صـورت کـروی بـوده کـه ایـن حـالت دراثراضافـه نمـودن عناصرخاکی نادربه مـذاب بوجـود مـی آیـد. ساختارمیکروسـکوپی غلتکهـای چدنـی بسـتگی بـه ترکیـب شیمیایی وسرعت سردکردن دارد. قسمت خارجی این غلتکها ممکن است شامل مارتنزیت باشد.

دراینجا انواع غلتکهای چدنی راشرح می دهیم.

۱-۳-۱- غلتکهای چدن پرکروم

پوسته بیرونی این غلتکها حاوی کروم زیادمی باشد وهیچگونه گرافیتی در ساختارشان وجودندارد. درابتدا این غلتکها درنوردگرم جهت تولیدات نواردی مسطح بکارمی رفتند.خواص غلتک تحت تأثیرهردوکاربیدهای کروم وزمینه می باشد. روش تهیه ، ریخته گری گریز از مرکز می باشد. هسته می تواند چدن داکتیل باشد. ساختار شامل کاربیدهای کروم پراکنده شده بطور یکنواخت و ریز در زمینه پرلیتی یا مارتنزیت تمپرشده می باشد. کاربیدها سختی حدود۲۲۲۰-۱۶۵۰ و یکرز دارند.این غلتکها مقاومت سایشی بسیاربالایی دارند. خواص زمینه نیزبسیارمهم است زمینه هم باید مقاومت سایشی مناسب داشته باشد.دراین غلتکها افت سختی درعمق نداریم[۱] .

۱-۳-۲- غلتکهای چدن تبریدی

این غلتکها پوسته ای ازچدن با گرافیت ورقه ای می باشند که به دوصورت استاتیکی دومرحله ای وگریزازمرکزقابل تهیه هستند. این غلتکها جهت تولیدات نواردی مسطح در نورد گرم استفاده می شوند. غلتکهای تولیدی به روش گریز از مرکز می توانند از هسته چدن خاکستری یا چدن داکتیل استفاده نمایند. غلتکهای تولیدی به روش استاتیکی فقط ازهسته با چدن خاکستری می توانندااستفاده کنند ساختاراین غلتکها شامل کاربیدها وگرافیتها دریک زمینه می باشدکه زمینه درگریدهای نرم ترپرلیت یابینیت ودرگریدهای سخت تر مارتنزیت می باشد. مقادیرگرافیت،کاربیدوزمینه اثرشدیدی روی خواص غلتک می گذارند. مقدارهرکدام ازاین اجزاء بوسیله ترکیب شیمیایی کنترل می شود. این غلتکها مقاومت سایشی عالی دارند، مقاومت دربرابرترکهای حرارتی وشکست بخصوص درنمونه های باسختی پایین مناسب است[۱] .

۱-۳-۳- غلتکهای چدن تبریدی باگرافیت کروی

این غلتکها مانند نوع قبلی هستند با این تفاوت که گرافیتها کروی هستند. این غلتکها جهت تولیدات نواردی مسطح ،مقاطع ریزومیله ها بکارمی روند.

انتخاب نام این غلتکها براساس شکل گرافیتها است وبه هردوروش استاتیکی وگریزاز مرکزتولید می شوند.پوسته شامل کاربیدها ومقدارکمی گرافیت کروی دریک زمینه پرلیتی، بینیتی یا مارتنزیتی می باشد. این غلتکها درمحلهایی که غلتکهای چدن تبریدی با شکست مواجه هستند مورد استفاده قرارمی گیرند [۱] .

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران