

GEN-FO-108	شماره مقاله:		موضوع مقاله:	پمپ های اسلاری
۱۴۰۲ دی ۱۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۱۹ از ۱۹	صفحه:		ویرایش:	دوم

بسمه تعالی

روش های اندازه گیری میزان سایش فلزات در محیط های اسلاری

تهیه کننده:

رسول مجاهدی فر

تهیه شده برای:

شرکت پارس فن آوران رادین

RADINTECH

گزارشی از:

شرکت پارس فن آوران رادین

ویرایش دوم

دی ۱۴۰۲

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

۱- خلاصه

عنوان سند	روش‌های اندازه‌گیری میزان سایش فلزات در محیط‌های اسلاری
تهیه کننده	رسول مجاهدی‌فر
موضوع	پمپ‌های اسلاری
نوع فایل	مقاله
کلید واژه	سایش، اسلاری، دستگاه‌های اندازه‌گیری

۲- محتوای مقاله

۲-۱- مقدمه

سایش اسلاری^۱ پدیده‌ی خرابی سطح به علت ضربه‌های مداوم ذرات جامد موجود در یک مایع است. از بین رفتن ماده به علت سایش اسلاری به عوامل زیادی بستگی دارد که به سه دسته تقسیم می‌شوند: گروه اول عوامل وابسته به شرایط سیلان (سرعت سیلان، زاویه برخورد ذرات، تمرکز ذرات، چگالی مایع، اکتیویته شیمیایی مایع، دمای مایع)، دوم عوامل وابسته به ذرات جامد^۲ (ابعاد، شکل، سختی، استحکام) و سوم عوامل وابسته به ماده هدف (خصوصیات مکانیکی و پایداری، چقرمگی، خستگی، استحکام تسلیم و نهایی، کارسختی، شکل سطح، ریزساختار، تعداد و ابعاد عیوب)، می‌باشند. با توجه به تعدد عوامل موثر بر میزان

¹ Slurry Erosion

² Solid Particle

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 PASSION FOR CREATION	موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۲ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

سایش اسلاری می‌توان گفت تخریب ماده با همکاری مجموعه‌ای از عوامل ذکر شده انجام می‌گردد. بنابراین، طراحی ابزار و وسایلی برای اندازه‌گیری سایش اسلاری امکان بررسی تاثیرات پارامترهای ذکر شده را به ما می‌دهد. البته نمی‌توان همه عوامل ذکر شده را در طی انجام یک آزمایش کنترل کرد [۱-۶].

۲-۲- انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری سایش اسلاری

دستگاه‌های اندازه‌گیری سایش اسلاری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: دستگاه نوع جت^۳ و دستگاه چرخشی^۴. بعضی از انواع دستگاه‌های جت در استانداردهای ASTM G ۷۳ و ASTM G ۷۶ توضیح داده شده اند [۷ و ۸]. البته این استانداردها روش اندازه‌گیری سایش را فقط در شرایط اسلاری بیان نمی‌کنند، بلکه سایش را در انواع محیط‌ها نمایش می‌دهند. استاندارد ASTM G ۷۳ سایش را در شرایط برخورد مایع [۷] و ASTM G ۷۶ سایش را در شرایط برخورد گاز بررسی می‌کند [۸]. بیشتر دستگاه‌های اندازه‌گیری سایش به صورت مشخص توسط محققان طراحی شده است. نوع چرخشی دستگاه اندازه‌گیری سایش اسلاری در استاندارد ASTM توضیح داده نشده است. در ادامه انواع دستگاه‌های نوع جت، چرخشی و دستگاه استاندارد ASTM توضیح داده خواهد شد.

۲-۲-۱- دستگاه نوع جت

همانطور که از نام این دستگاه مشخص است، اسلاری (مایع با ذرات جامد) به صورت یک جت با ماده هدف که می‌تواند ثابت یا در حال گردش باشد، برخورد می‌کند. در دستگاه‌های با نمونه در حال گردش،

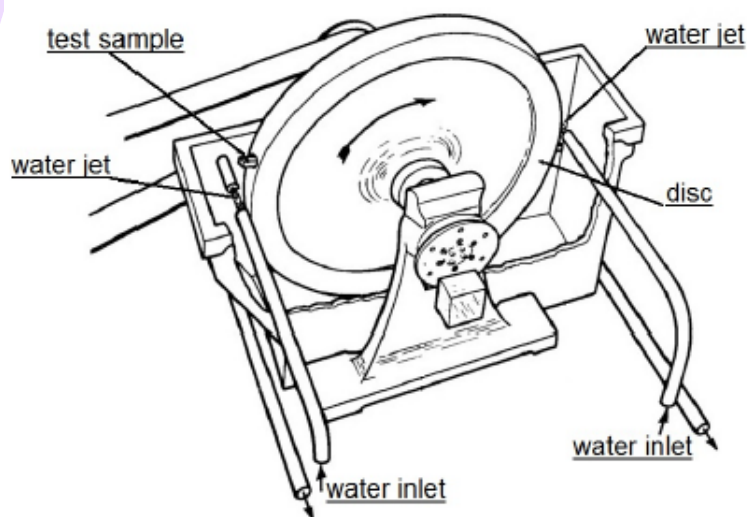
³ Jet Type Apparatus

⁴ Rotating Type Rigs

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۳ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

نمونه به وسیله یک جت اسلاری تحت برخوردهای سیکلی قرار می گیرد. در دستگاه های با نمونه ثابت، نمونه به صورت پیوسته در برابر یک جت اسلاری قرار می گیرد [۷ و ۹].

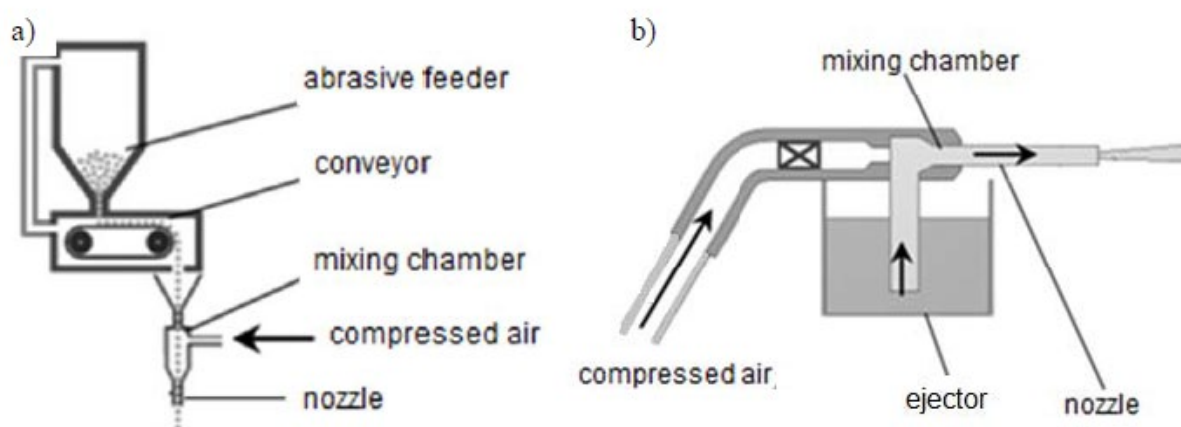
دستگاه هایی که در آن نمونه آزمایش بر روی یک بازو یا دیسک در حال گردش قرار می گیرد، در استاندارد ASTM G ۷۳ توضیح داده شده است. نمونه در حال گردش بوسیله یک جت اسلاری با فرکانسی که به سرعت چرخش دیسک بستگی دارد، تحت سایش قرار می گیرد (شکل (۱-۲)). رنج سرعت جت بین 50 m/s تا 1000 m/s است و نازل نیز قطری بین 0.1 mm تا 0.5 mm دارد [۷]. اسلاری از داخل سیستم پروانه ای پمپ شده و با استفاده از یک نازل به سمت نمونه هدایت می شود. در این حالت ممکن است به علت برخورد ذرات جامد با سرعت های مختلف با پره های روتور، سایش پمپ افزایش یافته و خساراتی ایجاد گردد. ابزارهای تست مطابق استاندارد ASTM G ۷۳ در مرجع [۹-۱۲] توضیح داده شده است.



شکل ۱-۲: دستگاه دیسک و جت ضربه ای چرخان، طبق استاندارد ASTM G ۷۳ [۷].

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۴ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

نوع دیگری از دستگاه‌های نوع جت، نوع نمونه ثابت^۵ هستند. در این گروه از ابزار، دسته بندی نوع می تواند مطابق سیستم هدایت و شکل گیری اسلاری باشد. در گروه اول ذرات ساینده با نیروی وزن یا یک نیروی خارجی از نازل خارج شده و به صورت یک جت در می آیند (شکل (۲-۲)). توضیحات بیشتر در مورد ابزارهای تست با نازل خروجی ساینده با استفاده از نیروی گرانش، در استاندارد ASTM G ۷۶ بیان شده است [۸]. در گروه دوم، ساینده با آب در یک تانک مخصوص مخلوط شده و پس از آن اسلاری به داخل نازل پمپ می شود (شکل (۲-۳)).



شکل ۲-۲: نمونه‌هایی از دستگاه‌های جت اسلاری با سیستم‌های تقسیم مختلف، (a) انتقال ثقیل ذرات ساینده، (b) با استفاده از یک دفع کننده [۷].

مطابق ASTM G ۷۶ [۸] ابزار تست شامل یک نازل، محفظه اختلاط^۶، منبع هوای فشرده و سیستم اندازه‌گیری ساینده می‌باشد (شکل (۲-۲a)). هوای فشرده و ساینده ها به داخل محفظه اختلاط هدایت شده و سپس از نازل با قطر ۱/۵ mm و طول ۵۰ mm خارج می‌گردد. خروجی نازل شامل جتی با هوای فشرده حاوی ذرات جامد است که به سطح نمونه برخورد می‌کند. نمونه تست در فاصله ۱۰ mm از نازل قرار گرفته

⁵ Stationary Specimen

⁶ Mixing Chamber

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 RADINTECH PASSION FOR CREATION	پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۵ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

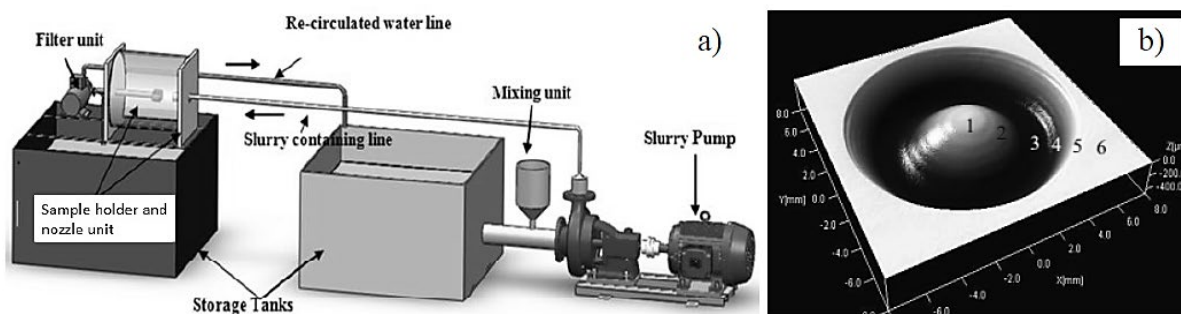
است. در حین آزمایش سرعت برخورد ذرات جامد $30 \pm 2 \text{ m/s}$ و اندازه ذرات $80-20 \text{ }\mu\text{m}$ است. سیلان در حدود $1/\text{min}$ در فشار 180 KPa است [۸و۲]. البته در مقایسه با آزمایش استاندارد ASTM G ۷۳ این آزمایش باید با سرعت برخورد پایین تری انجام گردد. در مرجع [۱۳و۱۴] دستگاه‌های بهبود یافته دیگری نیز طراحی شده اند که می توانند سرعت برخورد را تا 120 m/s افزایش دهند.

در یک دستگاه اسلاری شامل یک دفع کننده^۷ (شکل (۲b-۲))، سیال از یک مخزن نگهدارنده به دفع کننده پمپ می‌شود. در دفع کننده ناحیه ای کم فشار به علت تفاوت قطر بین نازل‌های ورودی و خروجی، بوجود می آید. این ناحیه کم فشار ذرات ساینده را به دفع کننده هدایت می‌کند. ذرات ساینده و سیال به شکل یک جت اسلاری مخلوط شده، در داخل دفع کننده شتاب گرفته و به سطح نمونه برخورد می‌کنند. این نوع طراحی از سایش پمپ جلوگیری می‌کند ولی مقدار ذرات ساینده ای که به نمونه برخورد می‌کنند به سرعت سیال و افت فشار در دفع کننده وابسته است [۱۹و۱].

یک نمونه از ابزار اسلاری با نمونه ثابت و مخزن اختلاط در شکل (۲a-۳) نمایش داده شده است. با استفاده از این نوع ابزار امکان کنترل مناسب سرعت ضربه، نرخ فلاکس جرم، فاصله بین نازل و نمونه، زاویه برخورد و توزیع ذرات جامد را خواهیم داشت. ولی پمپ می تواند در معرض سایش قرار داشته باشد. سایش ساینده شده به شکل رینگ درمی آید که در مرکز آن یک ناحیه ساینده نشده دیده می‌شود (شکل (b-۲) (۳)). این نوع آزمایش اندازه‌گیری سایش اسلاری معمولاً رایج تر است و در مرجع [۱] نمایش داده شده است.

⁷ Ejector

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۶ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم



شکل ۲-۳: نمونه‌هایی از دستگاه جت اسلاری با نمونه ثابت [۱۶] (a) و نمونه ساییده شده [۵] (b).

آزمون‌های برخورد جت را با توجه به سیستم چرخشی آن به دو گروه چرخش مجدد^۸ (RC) و بدون چرخش مجدد^۹ (NRC) تقسیم بندی می‌کنند [۱۷ و ۱۸]. مزیت آزمون نوع RC سهولت در ساخت و اجرا است، در حالیکه مزیت نوع NRC توانایی حذف تاثیر تغییرات در اندازه ذرات در هنگام برخورد با سطح آزمایش است. به علاوه، در روش RC مشکل کنترل تمرکز ذرات در مایع را خواهیم داشت.

مشکل اصلی این نوع آزمون سایش نازل می‌باشد که باید به طور مداوم اندازه‌گیری شود و همچنین سرعت ضربه نیز باید کالیبره گردد. به علاوه، زاویه برخورد تمامی ذرات یکسان نیست. همچنین ذرات جامد جت نیز به طور موضعی با نمونه برخورد می‌کنند که باعث تفاوت بین شرایط آزمایش با حالت واقعی می‌گردد.

۲-۲-۲- نوع چرخشی دستگاه اندازه‌گیری سایش^{۱۰}

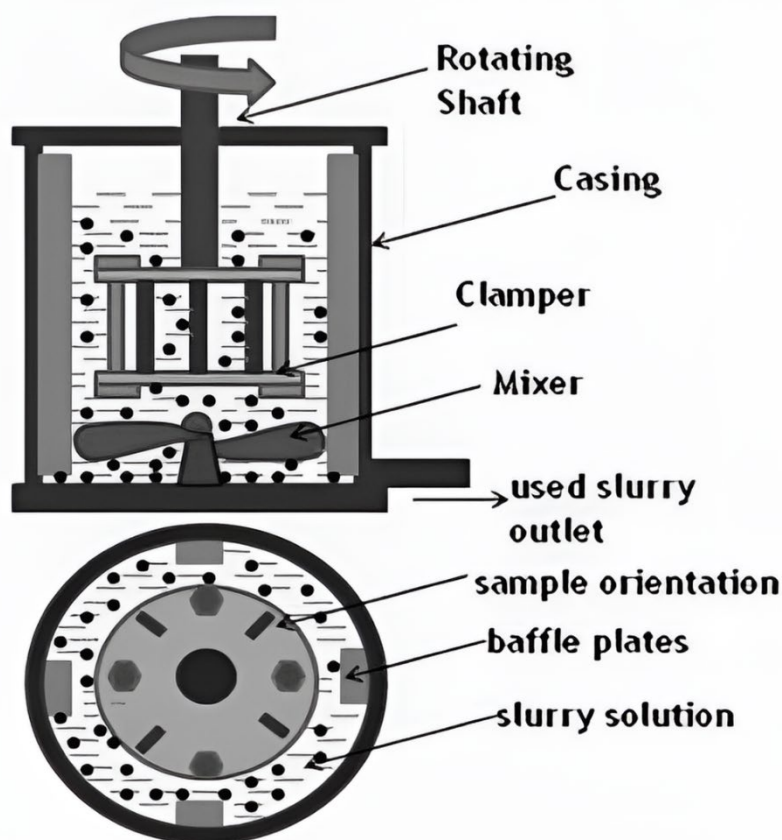
نوع چرخشی دستگاه‌ها شامل دستگاه محفظه اسلاری، دستگاه‌های سایش کرویولیس و بازو چرخشی می‌باشد. در این نوع از ابزارهای آزمایش هم نمونه و هم اسلاری در حال گردش خواهد بود [۴].

⁸ Recirculation

⁹ Nonrecirculation

¹⁰ Rotating Type Of Test Apparatus

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۸ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:



شکل ۲-۴: دستگاه سایش محفظه اسلاری [۲۳].

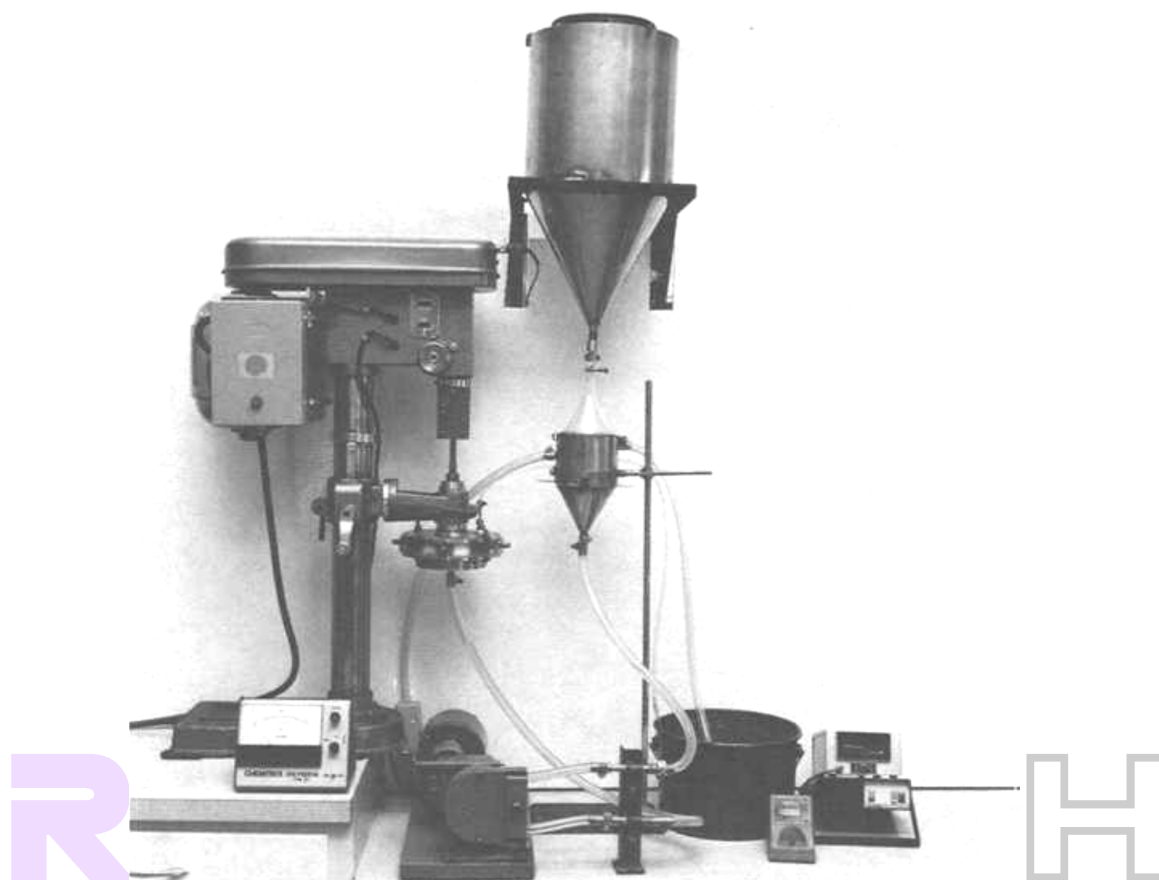
۲-۲-۲-۲-۲ دستگاه سایش سیلان اسلاری^{۱۲}

این دستگاه شامل یک محفظه اسلاری و وسایل انتقال اسلاری به محفظه با نرخی کنترل شده است. شکل (۵-۲) تصویر این دستگاه و شکل (۶-۲) شماتیک آن را نمایش می دهد. تصویر شماتیک دو مسیر جریان اسلاری را نشان می دهد. یک مسیر مربوط به سیلان مستقیم اسلاری و دیگری مربوط به اسلاری های بازیافت شده^{۱۳} می باشد [۲۴].

¹² Flow Through Slurry Erosion Wear Test

¹³ Recycled-Slurry

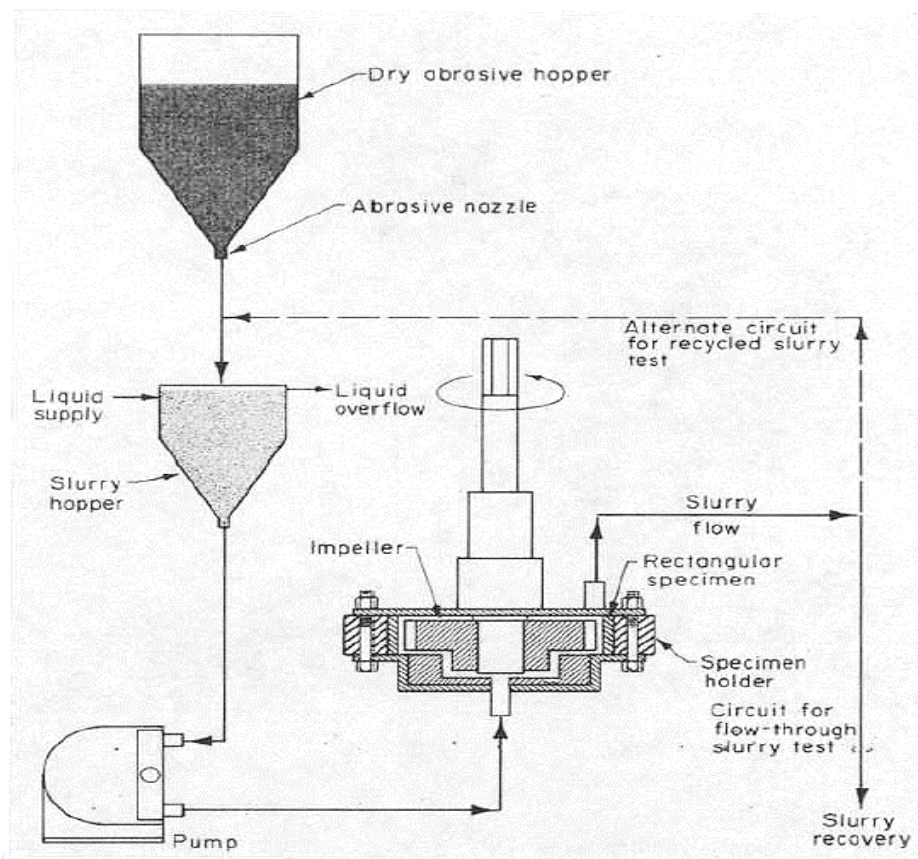
ART-PUSL-007-01	شماره سند:		پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۹ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:



شکل ۲-۵: دستگاه آزمایش سایش اسلاری [۲۴].

ذرات ساینده از یک محفظه واقع در بالای مخلوط کننده اسلاری به سمت پایین حرکت کرده و با آب مخلوط می گردد. سیلیس (اندازه ذرات ۷۰/۵۰ AFS) و آب در تمامی آزمایش ها وجود دارد. درصد وزنی ذرات جامد با ابعاد خروجی نازل محفظه تنظیم می گردد. اسلاری به داخل پمپ حرکت کرده و با استفاده از پمپ به داخل محفظه آزمایش منتقل می شود.

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۱۰ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

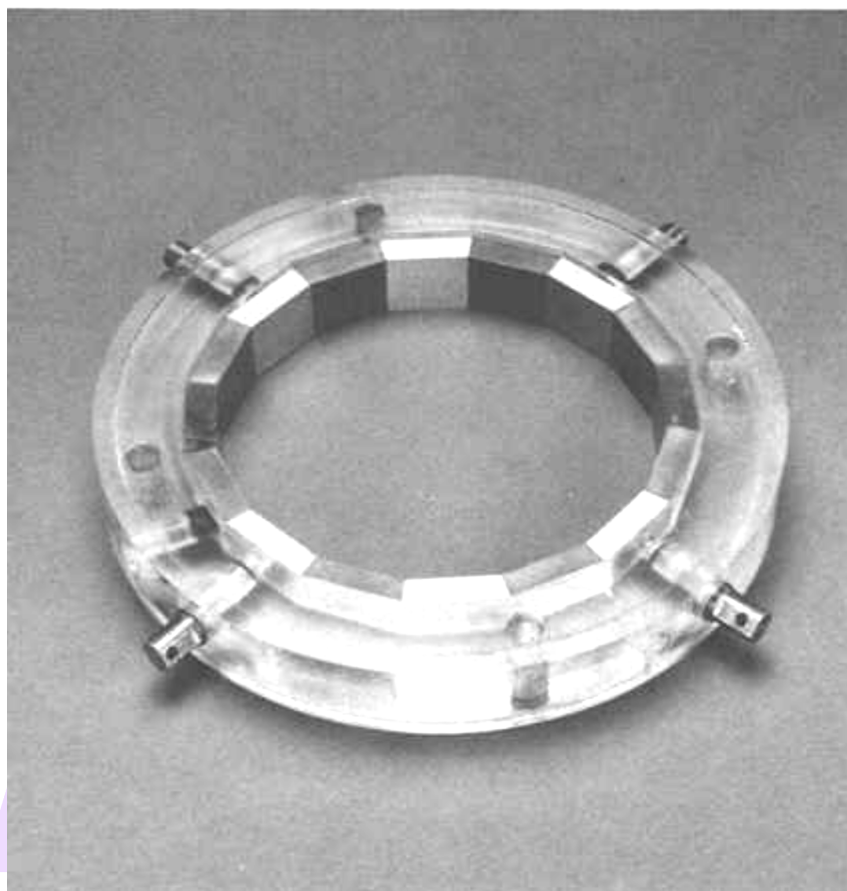


شکل ۲-۶: شماتیک دستگاه آزمایش سایش اسلاری [۲۴].

در داخل محفظه آزمایش اسلاری پروانه ای وجود دارد که نمونه‌های مورد بررسی دور تا دور آن قرار گرفته اند. زاویه برخورد ذرات با نمونه حدود $11/5^\circ$ خواهد بود. ناحیه مرکزی محفظه آزمایش اسلاری رینگ پلاستیکی به شکل شش وجهی است که ۱۶ نمونه در داخل آن قرار می‌گیرد که در شکل (۲-۷) نشان داده است.

نمونه ها با ابعاد 24×32 و ضخامت ۱۰ mm می‌باشند. نمونه ها با ابعاد دقیق در داخل رینگ پلاستیکی برای انجام آزمایش قرار می‌گیرند. پس از شروع آزمایش سطح نمونه ها در معرض سایش بوسیله اسلاری موجود در محفظه قرار می‌گیرد. سایش بوسیله کاهش جرم نمونه ها اندازه‌گیری می‌شود که می‌توان با تقسیم بر چگالی نمونه ها کاهش حجم آنها را نیز بدست آورد و نمی‌توان آن را به صورت کاهش ضخامت بر حسب زمان بیان کرد. زیرا سایش به صورت همگن در تمامی نقاط اتفاق نمی‌افتد. به همین دلیل سایش را به صورت مجموع کاهش حجم بیان می‌کنند.

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱۱ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:



شکل ۲-۷: ناحیه مرکزی محفظه اسلاری که نشان دهنده رینگ پلاستیکی و نمونه‌های فلزی است [۲۴].

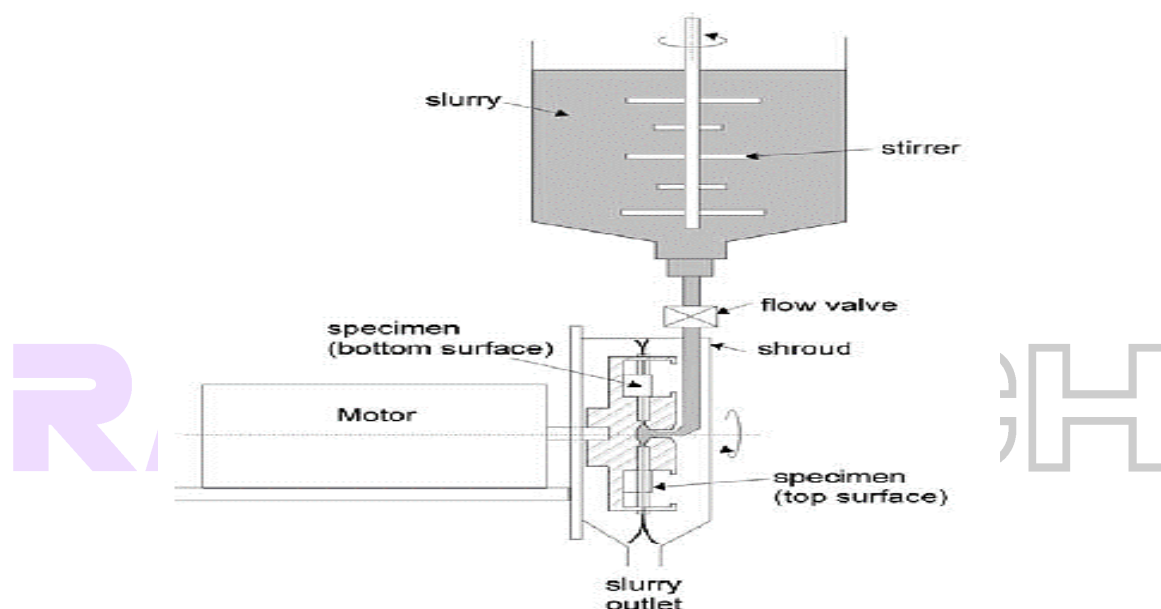
۲-۲-۲-۳ - دستگاه سایش کریولیس^{۱۴}

این دستگاه در سال ۱۹۸۴ توسط Tuzson [۲۵] برای بررسی حرکت اسلاری ها و نحوه واکنش آنها با سطوحی مانند پمپ ها و خطوط لوله، طراحی شد. دستگاه سایش اسلاری در سال ۱۹۹۹ توسط Clark [۲۶] و همکاران اصلاح شد. هدف از این اصلاح اعمال توانایی آزمایش نمونه‌های تخت با ابعاد ۶*۱۵*۲۹ بوده است. شماتیک این دستگاه در شکل (۲-۸) نمایش داده شده است. در این دستگاه از نیروی کریولیس و گریز از مرکز استفاده می‌شود. اسلاری ها از داخل یک محفظه به مرکز چرخاننده هدایت می‌شوند.

¹⁴ Coriolis Erosion Tester

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۱۲ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

نگهدارنده‌های نمونه‌ها با فاصله مساوی از مرکز چرخاننده قرار گرفته‌اند. کانال‌هایی بر روی نگهدارنده‌های نمونه‌ها قرار می‌گیرد که سیلان اسلاری از داخل آنها انجام می‌شود. نمونه‌ها با سرعتی در حدود rpm ۷۰۰۰ در حال چرخش هستند. اسلاری بوسیله نیروی گریز از مرکز و کریولیس در محفظه سایش شروع به چرخیدن می‌کند و ذرات جامد اسلاری با نمونه برخورد خواهد کرد. به علت سرعت بالای چرخش این آزمایش زمان کوتاهی خواهد داشت. همچنین امکان انجام آزمایش را برای دو نمونه خواهد داد [۲۵ و ۲۶].



شکل ۲-۸: دستگاه سایش کریولیس [۲۷].

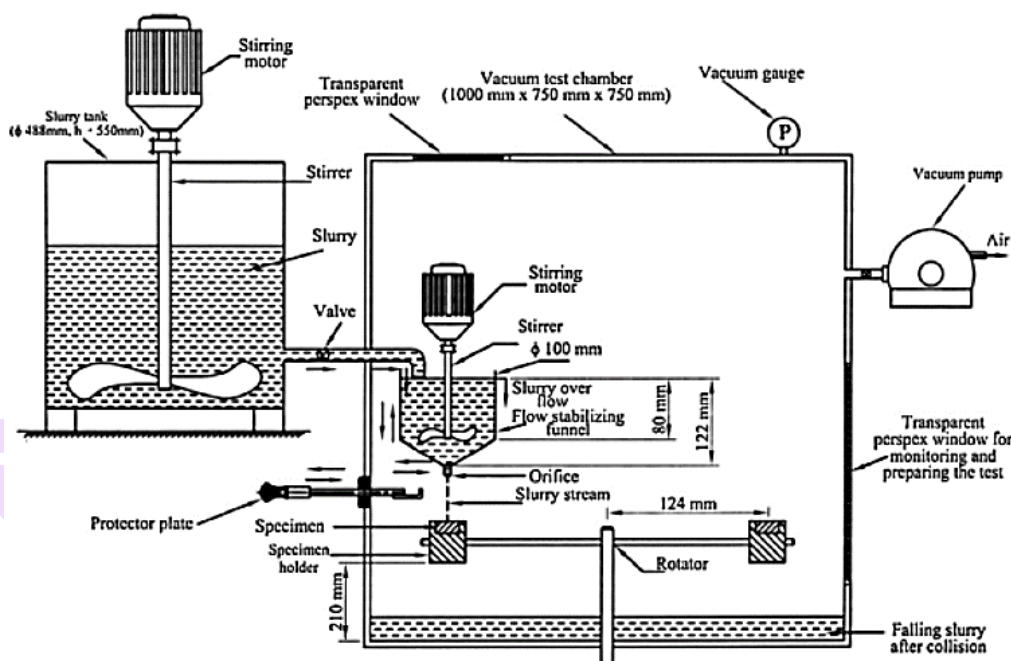
۲-۲-۲-۴- دستگاه آزمایش بازوی در حال گردش^{۱۵}

این آزمایش توسط Lin و Shao طراحی شده است. محفظه اسلاری شامل ذرات جامد و آب می‌باشد که با استفاده از یک هم زن مخلوط می‌شوند. سپس این مخلوط به محفظه دیگری که دارای یک قیف و هم زن می‌باشد، منتقل می‌گردند. مخلوط شدن کامل این ذرات جامد و آب بسیار اهمیت دارد. دستگاه آزمایش

¹⁵ Whirling Arm Test Device

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 RADINTECH PASSION FOR CREATION	موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۱۳ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

چهار بازوی افقی که نمونه‌های آزمایش بر روی آن قرار گرفته است، دارد. در حین انجام آزمایش نمونه‌ها توسط جت اسلاری مورد سایش قرار می‌گیرند. یکی از نکات مورد توجه در این روش توانایی کنترل دقیق سرعت و زاویه برخورد می‌باشد. این آزمایش در شرایط خلا به منظور حذف تاثیر جریان هوا (اثر آیرودینامیک) بر روی بخار اسلاری انجام می‌شود (شکل (۲-۹)) [۲۸-۳۰].



شکل ۲-۹: تصویر شماتیک آزمایش سایش بازوی در حال گردش [۳۰].

۲-۲-۳- ماشین Miller

عدد Miller برای محاسبه سایش اسلاری ها محاسبه می‌گردد. این آزمایش مبتنی بر کاهش جرم با استفاده از یک بلوک سایش استاندارد از جنس چدن پرکروم ۲۷٪Cr با اسلاری‌های مختلف بر روی یک لبه لاستیکی با بارگذاری ۲۲/۲ نیوتون انجام می‌شود. هرچه این عدد بالاتر باشد تهاجم ماده ساینده به قطعه بالاتر و عمر آن کاهش خواهد یافت. تاثیر مضاعف خوردگی (که معمولا در اسلاری‌های شامل مایع اتفاق می‌افتد، حتی به صورت آب مقطر) باید به صورت مشخص بررسی گردد. زیرا بسیاری از چدن‌های دیگر مقاومت

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		موضوع مقاله	پمپ اسلاری
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		نام واحد:	واحد محصول
۱۴ از ۶	صفحه:		ویرایش:	دوم

به خوردگی متفاوتی نسبت به این چدن دارند و عملکرد متفاوتی خواهند داشت. تاثیر همزمان خوردگی و سایش نیز باید در هر سیستمی به صورت جداگانه بررسی گردد.

عدد SAR: می توان به راحتی دریافت که نحوه واکنش مواد مختلف در محیطهای اسلاری متفاوت خواهد بود. بنابراین آزمایش جدیدی به نام عدد Miller معکوس گسترش یافت. SAR هر ماده ای در هر اسلاری با فرآیند عدد Miller یکسان است. ثابت شده است که جنبه های خوردگی در هر ماده ای متفاوت است و این موضوع در بسیاری از مواقع تاثیرات مهمی را بر روی انواع سایش abrasion و erosion خواهد داشت.

آزمایش های SAR برای بعضی مواد زمان بر است. هر چه تعداد داده ها بیشتر باشد مقایسه بهتری انجام خواهد شد.

اجزای آزمایش

 ابعاد نمونه استاندارد ۱۲/۷*۲۱۵/۴ mm است که تحت شرایط ضربه ای با نرخ ۴۸ ضربه در دقیقه و تعداد ۲۰۰ ضربه، در کف یک سینی^{۱۶} با ۵۰٪ وزنی اسلاری (طبق استاندارد ۵۰-۷۰ AFS ماسه در آب مقطر) قرار دارد. جرم مرده ای^{۱۷} به اندازه ۱/۸۶۶ کیلوگرم اعمال می گردد.

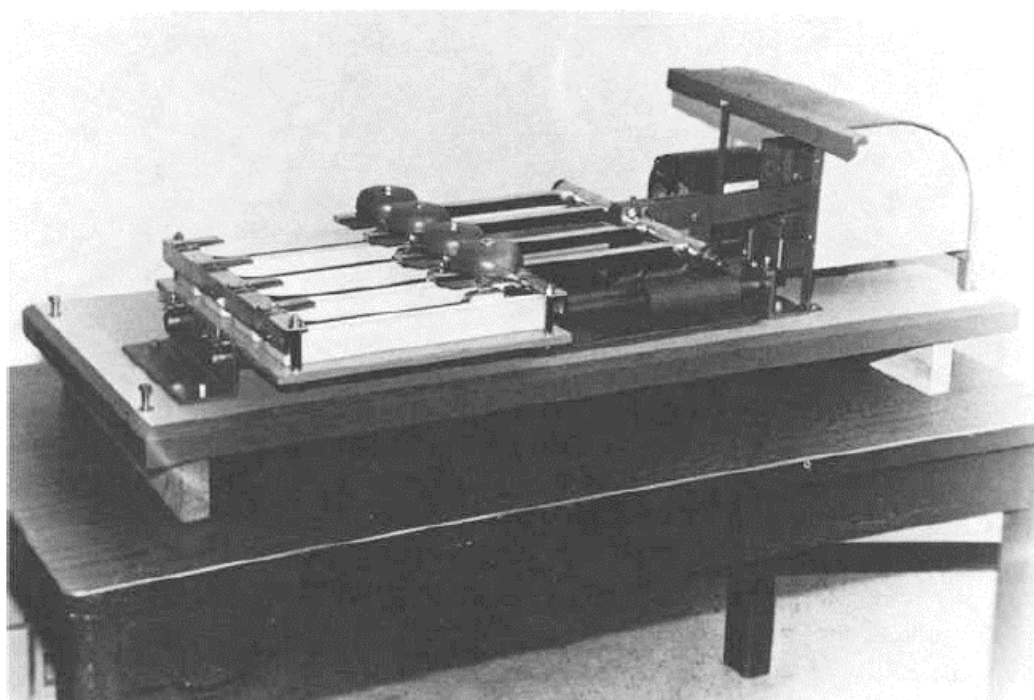
در هر آزمایش، کف سینی ورقی جدید از نئوپرین قرار می گیرد که به صورت یک مانع عمل می کند. ورودی سینی V شکل است تا ذرات اسلاری ساییده را به سمت نمونه هدایت کند. در انتهای هر ضربه، نمونه ۱/۵ mm از روی لبه بالا می رود تا ماده تازه زیر نمونه سیلان کند. نگهدارنده بلوک و سینی ها از پلاستیک ساخته شده اند به همین خاطر الکترولیز در اسلاری های مشخصی حذف خواهد شد.

¹⁶ Tray

¹⁷ Dead Mass

ART-PUSL-007-01	شماره سند:		پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱۵ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

قبل از انجام آزمایش نمونه تحت شستشو و خشک کردن به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفته و وزن آن به mg ۰/۱ می رسد. سپس نمونه در یک نگهدارنده اسلاری قرار می گیرد و حرکت رفت و برگشتی شروع خواهد شد. بعد از ۴ ساعت نمونه برداشته می شود، شسته شده، وزن آن اندازه گیری شده و کاهش وزن محاسبه می گردد. این کار ۴ بار انجام می شود تا مجموعاً ۱۶ ساعت انجام می گردد [۲۴].



شکل ۱۰-۲: ماشین Miller [۲۴].

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 PASSION FOR CREATION	پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱۶ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

۳- جمع بندی

در این مقاله به طور مختصر مبحث سایش در شرایط اسلاری و روش‌های اندازه‌گیری مقاومت مواد مختلف در این شرایط بررسی گردید. می‌توان به راحتی دریافت که سایش ماده در محیط‌های با حضور انواع اسلاری، تنها به ماده بستگی نداشته و عواملی مانند شرایط سیلان و نوع ذرات ساینده نیز اهمیت دارند. با افزایش سختی ماده می‌توان خواص سایشی ماده را در این شرایط بهبود بخشید. همچنین می‌توان بوسیله عملیات سطحی مانند پوشش دهی بر روی ماده مقاومت به سایش را افزایش داد.

به علت تعدد عوامل موثر بر میزان مقاومت به سایش در شرایط اسلاری، بررسی مقاومت به سایش در این شرایط باید با آزمون‌های طراحی شده مشابه با شرایط سایش اسلاری، انجام گردد. تعدادی از این آزمایش‌ها در این مقاله معرفی و بررسی شدند. هر کدام از این روش‌ها معایب و مزایایی دارند که با توجه به شرایط واقعی باید مورد استفاده قرار گیرند. در هر یک از آزمایش‌های معرفی شده، هرچه بتوان میزان عوامل موثر را بهتر کنترل کرد، نتایج دقیق‌تر و به شرایط واقعی نزدیک‌تر خواهد بود.

RADINTECH

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 RADINTECH PASSION FOR CREATION	پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱۷ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

۴- مراجع

- Grewal, H.S., Agrawal, A. and Singh, H., 2013. Design and development of high-velocity slurry erosion test rig using CFD. Journal of materials engineering and performance, 22(1), pp.152-161. [۱]
- Zbrowski, A. and Mizak, W., 2011. Analiza systemów wykorzystywanych w badaniach uderzeniowego zużycia erozyjnego. Problemy eksploatacji, pp.235-250. [۲]
- Finnie, I., 1995. Some reflections on the past and future of erosion. Wear, 186, pp.1-10. [۳]
- Finnie, I., 1960. Erosion of surfaces by solid particles. wear, 3(2), pp.87-103. [۴]
- Grewal, H.S., Agrawal, A. and Singh, H., 2013. Slurry erosion mechanism of hydroturbine steel: Effect of operating parameters. Tribology Letters, 52(2), pp.287-303. [۵]
- Lathabai, S. and Pender, D.C., 1995. Microstructural influence in slurry erosion of ceramics. Wear, 189(1-2), pp.122-135. [۶]
- ASTM, A., 2013. G73-10 "Standard Test Method for Liquid Impingement Erosion Using Rotating Apparatus". ASTM: West Conshohocken, PA, USA. [۷]
- ASTM G76-13: Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets. [۸]
- Syamsundar, C., Chatterjee, D., Kamaraj, M. and Maiti, A.K., 2015. Erosion characteristics of nanoparticle-reinforced polyurethane coatings on stainless steel substrate. Journal of Materials Engineering and Performance, 24(4), pp.1391-1405. [۹]
- Singh, G., Virdi, R.L. and Goyal, K., 2015. Experimental investigation of slurry erosion behaviour of hard faced AISI 316L Stainless Steel. Universal Journal of Mechanical Engineering, 3(2), pp.52-56. [۱۰]
- Shitole, P.P., Gawande, S.H., Desale, G.R. and Nandre, B.D., 2015. Effect of impacting particle kinetic energy on slurry erosion wear. Journal of Bio-and Tribo-Corrosion, 1(4), p.29. [۱۱]
- Rai, A.K., Kumar, A. and Staubli, T., 2015. Developing a test rig to measure hydro-abrasive erosion in Pelton turbine. In Int. Conf. Hydropower Sustain. Dev (pp. 05-07). [۱۲]
- Oka, Y.I., Mihara, S. and Yoshida, T., 2009. Impact-angle dependence and estimation of erosion damage to ceramic materials caused by solid particle impact. Wear, 267(1-4), pp.129-135. [۱۳]
- Momber, A.W., 2017. Effects of erodent flow energy and local exposure time on the erosion of cement-based composites at high-speed hydro-abrasive flow. Wear, 378, pp.145-154. [۱۴]

ART-PUSL-007-01	شماره سند:	 RADINTECH PASSION FOR CREATION	پمپ اسلاری	موضوع مقاله
۱۶ دی ۱۴۰۲	تاریخ:		واحد محصول	نام واحد:
۱۸ از ۶	صفحه:		دوم	ویرایش:

- Nguyen, Q.B., Lim, C.Y.H., Nguyen, V.B., Wan, Y.M., Nai, B., Zhang, Y.W. and Gupta, M., 2014. Slurry erosion characteristics and erosion mechanisms of stainless steel. *Tribology International*, 79, pp.1-7. [۱۵]
- Pugsley, V.A. and Allen, C., 1999. Microstructure/property relationships in the cavitation erosion of tungsten carbide–cobalt. *Wear*, 233, pp.93-103. [۱۶]
- Wood, R.J.K., Mellor, B.G. and Binfield, M.L., 1997. Sand erosion performance of detonation gun applied tungsten carbide/cobalt-chromium coatings. *Wear*, 211(1), pp.70-83. [۱۷]
- Neville, A. and McDougall, B.A.B., 2001. Erosion–and cavitation–corrosion of titanium and its alloys. *Wear*, 250(1-12), pp.726-735. [۱۸]
- Tsai, W.J.A.I., Humphrey, J.A.C., Cornet, I. and Levy, A.V., 1981. Experimental measurement of accelerated erosion in a slurry pot tester. *Wear*, 68(3), pp.289-303. [۱۹]
- Gupta, R., Singh, S.N. and Sehadri, V., 1995. Prediction of uneven wear in a slurry pipeline on the basis of measurements in a pot tester. *Wear*, 184(2), pp.169-178. [۲۰]
- Gandhi, B.K., Singh, S.N. and Seshadri, V., 2003. A study on the effect of surface orientation on erosion wear of flat specimens moving in a solid–liquid suspension. *Wear*, 254(12), pp.1233-1238. [۲۱]
- Gadhikar, A.A., Sharma, A., Goel, D.B. and Sharma, C.P., 2011. Fabrication and testing of slurry pot erosion tester. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 64(4-5), pp.493-500. [۲۲]
- Thakur, L. and Arora, N., 2013. A comparative study on slurry and dry erosion behaviour of HVOF sprayed WC–CoCr coatings. *Wear*, 303(1-2), pp.405-411. [۲۳]
- Miller, J.E., 1987. *Slurry Erosion: Uses, Applications, and Test Methods: a Symposium* (Vol. 946). ASTM International. [۲۴]
- Tuzson, J.J., 1984. Laboratory slurry erosion tests and pump wear rate calculations. *Journal of fluids engineering*, 106(2), pp.135-140. [۲۵]
- Clark, H.M., Hawthorne, H.M. and Xie, Y., 1999. Wear rates and specific energies of some ceramic, cermet and metallic coatings determined in the Coriolis erosion tester. *Wear*, 233, pp.319-327. [۲۶]
- Clark, H.M., Hawthorne, H.M. and Xie, Y., 1999. Wear rates and specific energies of some ceramic, cermet and metallic coatings determined in the Coriolis erosion tester. *Wear*, 233, pp.319-327. [۲۷]
- Lin, F.Y. and Shao, H.S., 1991. Effect of impact velocity on slurry erosion and a new design of a slurry erosion tester. *Wear*, 143(2), pp.231-240. [۲۸]
- Abouel-Kasem, A., Abd-Elrhman, Y.M., Emara, K.M. and Ahmed, S.M., 2010. Design and performance of slurry erosion tester. *Journal of Tribology*, 132(2), p.021601. [۲۹]
- Al-Bukhaiti, M.A., Ahmed, S.M., Badran, F.M.F. and Emara, K.M., 2007. Effect of impingement angle on slurry erosion behaviour and mechanisms of 1017 steel and high-chromium white cast iron. *Wear*, 262(9-10), pp.1187-1198. [۳۰]