ماەنامە علمى پژوھشى

مهندسی ساخت و تولید ایران www.smeir.org



# مقایسه رفتار سایشی یک آلیاژ توسعهیافته بهصورت فولاد TRIP و فولاد DP

ايمان حاجيان نيا<sup>1</sup>، محمدرضا پاکمنش<sup>2\*</sup>، مرتضى شمعانيان<sup>3</sup>، مسعود عطاپور<sup>4</sup>

1-دانشجوی دکتری، مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

2- استادیار، گروه مواد و آلیاژهای نوین، پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، اصفهان

3- استاد، مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

4- دانشيار، مهندسي مواد، دانشگاه صنعتي اصفهان، اصفهان

\* اصفهان، صندوق پستى 81955/174 mr.pakmanesh@isrc.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیدہ
مقاله پژوهشی کامل دریافت: 26 مرداد 1398 پذیرش: 19 آذر 1398 ارائه در سایت: تیر 1399	در این پژوهش رفتار سایشی فولاد با پلاستیسیته حاصل از استحاله (TRIP) و فولاد دو فازی (DP) حاصل از دو چرخه عملیات حرارتی مختلف در یک فولاد کم آلیاژ استحکام بالا مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های سایش بهصورت رفت و برگشتی تحت نیروی یک کیلوگرم و با سرعت خطی ثابت 0/1 متر بر ثانیه انجام شد و سپس سطح نمونه های سایش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با آنالن نقطهای پرسی گردند و بهمنظور ارزیابی نوع فازهای تشکیل شده، از آرمون پراش پرتو ایکس استفاده شد. یافته هان دا
<b>کلیدواژگان:</b> فولاد TRIP فولاد DP سایش ورقه شدن	فرایند سایش، فولاد TRIP نسبت به فولاد DP دارای کاهش وزن بیشتری میباشد؛ در فولاد TRIP، طی فرایند سایش بهعلت استحاله تبدیل فاز آستنیت باقیمانده به مارتنزیت، نرخ تغییرات وزن کاهش شدیدتری را نشان داد. در فولاد DP بهعلت اختلاف شدید سختی فریت و مارتنزیت، سطح سایش غیریکنواختتری بهدست آمد. همچنین آزمایشها حاکی از تشکیل اکسید Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> در فولاد DP و Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> در فولاد TRIP میباشد که میزان اکسید آهن در فولاد TRIP نسبت به فولاد DP بیشتر بود. در نهایت مکانیسم سایش هر دو
رر سایش اکسیدی	فولاد، ورقه شدن به همراه سایش اکسیدی تشخیص داده شد.

## Comparison of wear behavior of an alloy developed as TRIP steel and DP steel

## Iman Hajannia<sup>1</sup>, Mohammad Reza Pakmanesh<sup>2\*</sup>, Morteza Shamanian<sup>1</sup>, Masoud Atapour<sup>1</sup>

1- Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran

\* P.O.B. 81955/174 Isfahan, Iran, mr.pakmanesh@isrc.ac.ir

Article Information	Abstract		
Original Research Paper Received 17 August 2019 Accepted 10 Desember 2019 Available July 2020	In this research, wear behavior of a TRIP steel and a DP steel from two different heat treatments was investigated on a high-strength low-alloy steel. Reciprocating wear tests were performed at a force of one ky with a constant linear velocity of 0.1 m/s. Wear samples were studied by SEM with point analysis. To study type of phases formed, XRD was used. The results showed that during the wear process, TRIP steel had more		
Keywords:	weight loss than DP steel, and in TRIP steel, the rate of change in weight decreased significantly during the		
TRIP Steel	wear process due to the transformation of the remaining austenite phase to martensite. In the DP steel, due to		
DP Steel	severe difference in ferrite and martensitic hardness, a more uniform wear surface was produced. Also,		
Wear	experiments showed that $Fe_2O_3$ oxide was formed in steel DP and $Fe_2O_3$ and $Fe_3O_4$ in steel TRIP, which		
Delamination oxidation	increased the amount of iron oxide in steel TRIP compared to DP steel. Ultimately, the wear mechanism of both steel delamination and oxidation wear were detected		

میدهند [1]. فولاد TRIP<sup>2</sup> دارای ریزساختاری شامل فازهای بینیت، مارتنزیت و آستنیت پر کربن بدون کاربید در زمینه فریت میباشد. استحاله بینیتی در حین فرایند تولید آن باعث غنی شدن آستنیت از کربن و فعال شدن مکانیزم پایداری آستنیت بعد از سرد کردن سریع در دمای اتاق میشود. خواص این آلیاژ ناشی از وقوع استحاله تبدیل آستنیت به مارتنزیت در

اخیراً فولادهای استحکام بالای پیشرفته <sup>1</sup> (AHSS) در حال تکامل بوده و کاربردهای آنها خصوصاً در صنعت خودرو در حال توسعه است. این فولادها با انجام عملیات حرارتی بر روی فولادهای کم کربن استحکام بالا تولید می شوند به طوری که علاوه بر حفظ استحکام، شکل پذیری بیشتری نیز از خود نشان

Please cite this article using:

<sup>1</sup> Advanced high strength steel

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1– مقدمه

I. Hajannia, M. R. Pakmanesh, M. Shamanian, M. Atapour, Comparison of wear behavior of an alloy developed as TRIP steel and DP steel, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 48-54, 2020 (in Persian)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Transformation induced plasticity

اثر اعمال تنش خارجی است بهطوری که برای ساخت قطعات تقویت شده با شکلهای پیچیده مناسب است [2]. ریز ساختار فولادهای دو فازی<sup>1</sup> (DP) شامل یک فاز نرم فریت بهعنوان زمینه و جزایر مجزا و پراکنده یفاز سخت مار تنزیت می باشد. در تولید این فولاد، فرایند گرم کردن و سپس سرد کردن سریع، ریز ساختار دوفازی فریت و مار تنزیت حاصل می شود. ترکیب یک فاز سخت و یک فاز نرم ترکیب مناسب و متعادلی از خواص مکانیکی به ویژه مقاومت به سایش در این فولادها پدید می آورد

وجود ریزساختار پیچیده و حضور فازهای متنوع با میزان سختی و انعطاف پذیری متفاوت در این فولادها باعث شده تا علاوه بر خواص کششی و انعطاف پذیری مطلوب از رفتار سایشی خوبی نیز برخوردار باشند. از جمله کاربرد این فولادها در قسمتهای مختلف خودروهای جدید از جمله ستونها، شاسی نگهدارنده موتور، ریل جلو و عقب و قاب صندلی است. همچنین مطالعات اخیر نشان میدهد که این فولادها دارای پتانسیل خوبی برای استفاده در کاربردهای دیگری مانند کشاورزی و تجهیزات معادن باشند؛ زیرا نسبت به فولادهای ساده کربنی، مستحکمتر، دارای نرخ سایش کمتر و از فولادهای آلیاژی ارزانتر هستند [4، 5]. گا و همکاران رفتار کششی با نرخ کرنش بالای فولاد TRIP و فولاد DP با یک آنالیز شیمیایی مشابه را مورد ارزیابی قرار دادند [6]؛ اما عمده تحقیقات صورت گرفته بر روی ارزیابی و بهبود رفتار سایشی فولاد TRIP و فولاد DP بهطور جداگانه بوده است [2، 3]. بررسی های انجام شده در مورد رفتار سایشی این نوع فولادها عمدتا بهمنظور بهینهسازی چرخههای عملیات حرارتی آنها [7، 8] و ارزیابی اثر آزمون سایش بر رفتار آنها [5، 9] می باشد اما هیچ تحقیقات مشابهی با این پژوهش گزارش نشده است. در این پژوهش برای اولین بار رفتار سایشی رفت و برگشتی دو فولاد TRIP و DP توسعه داده شده از یک ترکیب شیمیایی مشترک مورد مقایسه قرار گرفت.

### 2- مواد و روش تحقیق 2-1- فرایند تولید

.[3]

در این تحقیق ترکیب شیمیایی فولاد مورد نظر توسط کوره القایی به صورت کنترل شده ریخته گری شد. نتیجه حاصل از آنالیز شیمیایی این فولاد توسط اسپکتروسکوپی جذب اتمی در جدول 1 ارائه شده است. شمش ریخته گری شده با وزن 30 کیلو گرم با ابعاد 100×100×30 سانتی متر بعد از همگن سازی در

کوره با اتمسفر کنترل شده به مدت 1 ساعت و در دمای 3/2 میلی 100% با فرآیند نورد گرم و طی 3 مرحله به ضخامت 3/2 میلیمتر رسید. ورقهای نورد گرم شده به مدت 1 ساعت در دمای 2°100 در داخل کوره اتمسفر کنترل شده آنیل گردیده و پس از اکسیدزدایی مکانیکی و اسیدشویی تا ضخامت 1 mm نورد سرد شدند.

جدول 1 تركيب شيميايي فولاد مورد استفاده ((wt%). Table 1 Chemical composition of the steel used (wt%).

عنصر	درصد وزنى	
С	0/18	
Si	0/97	
Mn	2/50	
S	0/004	
Р	0/003	
Al	0/02	
Cr	0/19	
Ni	0/21	
Fe	بقيه	

بهمنظور دستیابی به خواص مکانیکی بهینه برای فولادهای مورد نظر و براساس تحقیقات مشابه [7، 8]، زمانها و دماهای بحرانی با انجام چندین عملیات حرارتی مقدماتی مورد ارزیابی قرار گرفت. سیکل انتخابی برای رسیدن به فولاد TRIP شامل عملیات آنیل میان بحرانی در دمای 2۰0% و به مدت 3608 و بلافاصله عملیات آستمپرینگ در دمای 350% به مدت 6008 در حمام نمک مذاب ایزوترمال و سپس سرد کردن در آب در نظر گرفته شد. همچنین برای دستیابی به ساختار دو فازی فریت و مارتنزیت، سری دوم نمونهها (با همان ترکیب شیمیایی) پس از آنیل میان بحرانی (مشابه با حالت قبل)، سریعاً در آب سرد گردید. شکل 1 سیکل عملیات حرارتی انجام شده برای فولادهای مورد آزمایش را نشان میدهد.

### 2-2- ارزيابي خواص

بررسیهای سایشی توسط دستگاه سایش رفت و برگشتی با سرعت خطی ثابت 1/0 متر بر ثانیه توسط پینهایی از جنس فولاد بلبرینگ 52100 تحت نیروی یک کیلوگرم انجام شد. شرایط سایش براساس سایر تحقیقات [5، 9] و کاربرد مورد نظر در بدنه خودرو انتخاب گردید. ابعاد نمونه 5 × 3 سانتیمتر مربع انتخاب گردید و آزمایش سایش در مسافت 1000 متر انجام شد. این تست در متوسط دمای 30 درجه سانتیگراد و رطوبت حدود

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Dual phase steels

مهندسی ساخت و تولید ایران، تیر 1399، دوره 7 شماره 4

25% انجام شد. درنهایت منحنی کاهش وزن و نمودار ضریب اصطکاک رسم گردید.



**Fig. 1** The heat treatment cycle used in (a) DP and (b) TRIP. .(الف) DP ( و (ب) TRIP ( سيكل عمليات حرارتي مورد استفاده در

میزان سختی به روش ویکرز با نیروی اعمالی یک کیلوگرم در مدت زمان اعمال 10 ثانیه توسط دستگاه Wolpert اندازه گیری شد. محصولات سایش و نمونه های تولید شده با پراش اشعه ایکس توسط دستگاه Philips X'Pert-MPD تحت طول موج 0/15406 نانومتر مورد مشخصه یابی قرار گرفت. برای ارزیابی میکروساختار سطح و محصولات سایش، نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>1</sup> (SEM) به کمک دتکتورهای الکترون ثانویه (SE) و برگشتی (BSE) تحت اختلاف پتانسیل شتاب دهی 20 کیلوولت همراه با آنالیز نقطه ای EDS برسی

شدند و آنالیز تصاویر و اندازه گیری فازها توسط نرمافزار پردازش تصویر ریزساختاری MIP 4/2full صورت پذیرفت.

### 3- نتايج و بحث

ریزساختار فولاد DP دارای حدوداً 49 درصد مارتنزیت (M) در زمینه فریت (F) میباشد که در شکل 2 (a) ارائه شده است. تحقیقات نشان میدهد، زمانی که کسر حجمی فاز مارتنزیت از 50 درصد فراتر رود، فاز فریت غیرپیوسته میشود و متناسب با ازدیاد مقدار فاز مارتنزیت، استحکام این فولادها افزایش مییابد [10]. بهمنظور تعیین دقیق آستنیت باقیمانده در فولاد TRIP از پراش اشعه ایکس کمک گرفته شد [11]. شکل 3 الگوی پراش حاصل را برای این فولاد نشان میدهد. پراش اشعه ایکس فقط میتواند ساختار cod و fcc را مشخص کند و توسط این روش نمیتوان فازهای مارتنزیت، بینیت و فریت را بطور دقیق از هم تفکیک نمود. برای تشخیص این فازها از آنالیز تصویری استفاده شد.



**Fig. 2** SEM image of the microstructure of (a) DP and (b) TRIP etched by 2% nital solution.

شكل 2 تصوير SEM از ريزساختار فولاد (a) DP و TRIP اچ شده توسط محلول نايتال 2%.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Scanning electron microscopy





شكل 3 الكوى پراش اشعه ايكس فولاد TRIP.

طبق شکل 2 (b) ریزساختار فولاد TRIP شامل فازهای مارتنزیت (M)، بینیت (B) و آستنیت باقیمانده (γ) در زمینه فریت (F) را نشان میدهد. طی محاسبات انجام شده میزان حدودی فریت 50 درصد، مقدار آستنیت باقیمانده 14 درصد و باقیمانده مجموع فازهای مارتنزیت و بینیت میباشد. مقایسه این دو شکل نشان میدهد، هندسه فازها در فولاد TRIP به سمت سوزنی میل کرده است.

شكل4 نمودار كششی فولاد DP و فولاد TRIP را نشان می دهد. استحكام نهایی و استحكام تسلیم فولاد DP طی این آزمایش به ترتیب 1260 و 905 مگاپاسكال و استحكام نهایی و استحكام تسلیم فولاد TRIP به ترتیب 1100 و 765 مگاپاسكال اندازه گیری شد و سختی فولاد TRIP، 317 ویكرز و فولاد PP 340 ویكرز به دست آمد.

تغييرات كاهش وزن برحسب فاصله براى نمونههاى مختلف مورد آزمایش در جدول 2 و شکل 5 ارائه شده است؛ همان طور که ديده مى شود، كاهش وزن در هر دو نمونه با افزايش مسافت افزایش می یابد اما شیب تغییرات وزن به خصوص در اوایل مسافت در فولاد DP کمتر از فولاد TRIP است. مقاومت سایش این دو فولاد از طریق مارتنزیت تأمین می گردد که مقدار آن در فولاد DP نسبت به فولاد TRIP بیشتر است؛ از طرف دیگر حضور فريت و آستنيت باقيمانده باعث كاهش اثرات نامطلوب تردی مارتنزیت و کاهش میکروتر کهای ناشی از سایش میشود اما هندسه سوزنی شکل فازها در فولاد TRIP می تواند، باعث تمرکز تنش و کاهش مقاومت سایشی این فولاد گردد. در ادامه فرآیند سایش، شیب تغییرات وزن در فولاد TRIP کمتر می شود. دليل اين كاهش شيب تغييرات وزن فولاد TRIP، براساس تحقيقات جا و همكاران [12]، انجام استحاله تبديل آستنيت باقیمانده به مارتنزیت در حین فرایند سایش میباشد. در نهایت کاهش وزن فولاد TRIP نسبت به فولاد DP بیشتر محاسبه

مهندسی ساخت و تولید ایران، تیر 1399، دوره 7 شماره 4

گردید. همچنین شکل6 ضریب اصطکاک را بهعنوان تابعی از فاصله لغزش نشان میدهد.



**شکل 4** نمودارهای تنش-کرنش برای فولاد DP و فولاد TRIP.

جدول 2 تغییرات کاهش وزن متناسب با فاصله برای نمونههای مختلف (برحسب میلی گرم).

Table 2 Weight loss changes for different samples (in mg).				
فاصله	TRIP	DP		
100	1/7	0/9		
200	3/3	1/1		
400	4/8	1/6		
600	5/3	2/0		
800	6/4	3/1		
1000	6/9	4/7		



شکل 5 تغییرات کاهش وزن برحسب فاصله برای نمونههای مورد آزمایش.





**شکل 6** تغییرات ضریب اصطکاک بهعنوان تابعی از فاصله برای (DP (a و TRIP (b).

ماکزیمم ضریب اصطکاک برای فولاد TRIP و فولاد DP به ترتیب 1/0 و 0/85 بهدست آمد. ضریب اصطکاک بالا به مفهوم تماس شدیدتر بین دو سطح سایش میباشد که باعث افزایش میزان تنش شده و میزان کاهش وزن را افزایش می دهد [13]. عملکرد سایشی ضعیفتر فولاد TRIP با توجه به هندسه سوزنی شکل فازها و همچنین نرخ بالاتر اکسیداسیون و خرابی سطح این نمونه قابل توجیه است که با مطالعات هان و همکاران [14] هماهنگ است.

در شکل 7 (a) و (b) به ترتیب الگوی پراش اشعه ایکس ذرات سایش یافته فولاد PD و TRIP ارائه شده است. در فولاد DP اکسید نوع Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (مطابق با کارت مرجع 6060-000) مشاهده شد در صورتی که فولاد TRIP علاوه بر اکسید نوع مشاهده شد در صورتی که فولاد TRIP علاوه بر اکسید نوع Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> مشاهده شد در صورتی که فولاد PFI علاوه بر اکسید نوع O40-079 نیز میباشد و ارزیابی نسبت شدت پیک فازهای ثانویه در این دو تصویر نشان میدهد، میزان اکسیدهای آهن در ثانویه در این دو تصویر نشان میدهد، میزان اکسیدهای آهن در فولاد TRIP نسبت به فولاد PC دارای مقادیر بیشتری است. در فرایند سایش، طی حرکت نسبی پین روی سطح، مواد بهراحتی فرایند سایش، طی حرکت نسبی پین روی سطح، مواد بهراحتی از مناطق با مقاومت در برابر سایش کمتر حذف میشود، درحالی که مناطق با مقاومت به سایش بالا آسیب سطح کمتری که با افزایش تماس بین پین و سطح باعث تولید حرارت اصطکاکی میشود که منجر به تشکیل یک لایه اکسید روی



ایمان حاجیان نیا و همکا*ر*ان

**Fig. 7** X-ray diffraction pattern of (a) DP steel abrasion particles and (b) TRIP steel abrasion particles. **شکل 7** الگوی پراش اشعه ایکس (a) ذرات سایش فولاد PC

سايش فولادTRIP .

شكل 8 تصاویر SEM سطح فولادهای PD و TRIP را نشان می دهد. در تصاویر با دتكتور الكترون ثانویه (شكل 8 (a) و (b))، اثرات سایش به ترتیب برای فولاد PD و فولاد TRIP دیده می شود و آثار زبری و لهیدگی بر روی سطح، به راحتی قابل تشخیص است. شكل 8 (c) و (b) تصاویر سطح را با دتكتور الكترون برگشتی در این دو فولاد نشان می دهد كه پس از سایش، شیارهای طولی به موازات جهت لغزش ایجاد گردیده و علاوه بر این، در برخی مناطق، مسیر سایش با یک لایه تیره پوشیده شده است. تحقیقات نشان می دهد، این مناطق می تواند ناشی از تشكیل لایه اكسید در مسیر سایش باشد [16].

بررسی این تصاویر همچنین حاکی از آن است که بخشی از سطح به شکل لایهای از آن جدا شده و بخشی دیگر بهصورت ورقههایی روی سطح در آستانهٔ جدا شدن است که میتواند، دلالت بر رخداد مکانیزم سایش ورقهای داشته باشد. این مکانیزم بهدلیل جوانهزنی و تشکیل ترکهای زیر سطحی ناشی از تغییر فرم شدید ایجاد شده در اثر سایش پین با سطح میباشد؛ این ترکها پس از تشکیل، رشد نموده و باعث ایجاد ذرات بهصورت ورقهای می گردد [13]. ایمان حاجیان نیا و همکا*ر*ان



**Fig. 9** EDS elemental analysis spectra of (a) TRIP and (b) DP wear products.

شكل 9 طيف آناليز عنصرى EDS از محصولات سايش (a) TRIP و (DP (b).

4- نتيجەگىرى

در این پژوهش رفتار سایش رفت و برگشتی یک فولاد توسعهیافته بهصورت TRIP و DP مورد بررسی قرار گرفت. یافته ها نشان داد:

- کاهش وزن در فولاد TRIP نسبت به فولاد DP شدیدتر و در مسافت 1000 متر بهترتیب 6/9 و 7/1 میلی گرم می باشد.

- ماکزیمم ضریب اصطکاک در فولاد TRIP نسبت به فولاد DP بیشتر بود و مقدار آن در TRIP و DP به ترتیب 1/0 و 0/85 محاسبه شد.

- نرخ تغییرات وزن طی فرایند سایش، در فولاد TRIP کاهش شدیدتری را نسبت به فولاد DP نشان داد. - مکانیزم سایش مشاهده شده برای هر دو فولاد، ورقه شدن به همراه سایش اکسیدی از نوع اکسید آهن تشخیص داده شد که میزان فازهای اکسیدی در فولاد TRIP بیشتر از فولاد DP بود.

### 5- مراجع

- [1] V. K. Barnwal, S. Lee, F. Barlat, Failure of DP and TRIP steel sheets in different deformation modes, *Proceedings of the 22nd International ESAFORM Conference on Material Forming*, Melville, USA, July 02, 2019.
- [2] C. Kim, J. Lee, F. Barlat, M. Lee, Frictional behaviors of a mild steel and a TRIP780 steel under a wide range of contact stress and sliding speed, *Journal of Tribology*, Vol. 136, No. 2, pp. 026061-026067, 2014.
- [3] H. Saghafian, Sh. Kheirandish, Correlating microstructural features with wear resistance of dual phase steel, *Materials Letters*, Vol. 61, pp. 3059– 3063, 2007.
- [4] G. Rongchun, Z. Jin, S. Ying, Application of the

#### مقایسه رفتار سایشی یک آلیاژ توسعه یافته به صورت فولاد TRIP و فولاد DP



**Fig. 8** SEM images of wear surface (a) and (b) SE of surface, (c) and (d) BSE of surface, (e) and (f) SE of abrasive particles for DP and TRIP, respectively.

شكل 8 تصاوير SEM سطح سايش (a) و (b) SE سطح، (c) و (c) الطح، (c) و (b) SE سطح، (c) و (c) TRIP و TRIP.

بررسی نمونهها نشان میدهد، فاز نرم در فولاد DP در مقایسه با فولاد TRIP گودتر و در سطح دارای ذرات ریزتری (f) و (f) است که ظاهر ذرات سایشیافته به ترتیب در شکل 8 (e) و (f) دیده میشود. این دو تصویر علاوه بر ذرات ریز، ذرات درشت ورقهای را نیز نشان میدهد.

طبق شکل 9، نتایج آنالیز عنصری بقایای ذرات سایش در مسیر لغزش رفت و برگشتی نشان از وجود درصد وزنی بالای اکسیژن دارد. آثار اکسایش سطحی و وجود این درصد وزنی بالای اکسیژن در ذرات نشاندهنده سایش اکسیدی است. تحقیقات نشان میدهد، بهدلیل ایجاد سطوح عاری از آلودگی قبل از سایش، امکان واکنشدهی سطوح مذکور با اتمسفر بهشدت وجود دارد و عمومیترین واکنشی که در شرایط مذکور رخ میدهد، اکسیداسیون است [9، 17]. این امر تأیید کنندهٔ مکانیزم سایش ورقهای و اکسایش سطحی بهطور همزمان میباشد. Near Random Crystallographic Orientation, *ASTM Book of Standards*, V 03.01, PA, United States, pp. 1-6, 2004.

- [12] A. K. Jha, BK. Prasad, O. P. Modi, S. Das, A. H. Yegneswaran, Correlating microstructural features and mechanical properties with abrasion resistance of a high strength low alloy steel, *Wear*, Vol. 254, pp. 120-128, 2003.
- [13] S. Ahmadi Miab, B. Avishan, S. Yazdani, Wear resistance of two nanostructural bainitic steels with different amounts of Mn and Ni, *Acta Metallurgica Sinica*, Vol. 29, pp. 587-594, 2016.
- [14] H. Han, Y. Gao, Y. Zhang, S. Du, H. Liu, Effect of magnetic field distribution of friction surface on friction and wear properties of 45 steel in DC magnetic field, *Waer*, Vol. 328, pp. 422-435, 2015.
- [15] U. F. Kocks, H. Mecking, Physics and phenomenology of strain hardening: the FCC case, *Progress in Materials Science*, Vol. 48, pp. 171-180, 2003.
- [16] G. Sainath, B. K. Choudhary, J. Christopher, E. I. Samuel, M. D. Mathew, Applicability of Voce equation for tensile flow and work hardening behaviour of P92 ferritic steel", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 132-133, pp. 1-9, 2015.
- [17] L. Valeria, H. N. Lorussoa, H. G. Svoboda, Effect of Carbon content on microstructure and mechanical properties of dual phase steels, *Procedia Materials Science*, Vol. 8, pp. 1047-1056, 2015.

high strength steel in the automobile, *Advanced Materials Research*, Vol. 748, pp. 227-230, 2013.

- [5] R. Tyagi, S. K. Nath, S. Ray, Development of wear resistant medium carbon dual phase steels and their mechanical properties, *Materials Science and Technology*, Vol. 20, pp. 645-652, 2004.
- [6] Y. Gao, C. Xu, Z. He, Y. He, L. Li, Response characteristics and adiabatic heating during high strain rate for TRIP steel and DP steel, *Journal of Iron and Steel Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 48-54, 2015.
- [7] H. Ashrafi, S. Sadeghzade, R. Emadi, M. Shamanian, Influence of heat treatment schedule on the tensile properties and wear behavior of dual phase steels, *Steel Research Int.*, Vol. 87, No. 9999, pp. 1-11, 2016.
- [8] S. Nemecek, Z. Novy, H. Stanková, Optimization of heat treatment of TRIP steels, *La Metallurgia Italiana*, Vol. 2, pp. 47-51, 2006.
- [9] V. Abouei, H. Saghafian, Sh. Kheirandish, Kh. Ranjbar, An investigation of the wear behaviour of 0.2% C dual phase steels, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 203, pp. 107-112, 2008.
- [10] M. Calcagnotto, Y. Adachi, D. Ponge, D. Raabe, Deformation and fracture mechanisms in fine- and ultrafine-grained ferrite/martensite dual-phase steels and the effect of aging, Acta Materials, Vol. 59, pp. 658-670, 2011.
- [11] ASTM E975, Standard Practice for X-Ray Determination of Retained Austenite in Steel with