

اندازه‌گیری تنش‌های پسماند دو محوری غیر یکسان به روش نفوذ

به کمک ایندنتور بیضی گون

مهدیس گودرزی^{۱*}، امیرحسین محمودی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، ۲. دانشیار گروه مهندسی مکانیک

گروه آموزشی مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان
Mhds.goudarzi@gmail.com

چکیده:

تنش‌های موجود در یک قطعه به ویژه تنش‌های پسماند بر عمر و استحکام آن تأثیرگذار هستند. به همین علت اندازه‌گیری تنش، موضوعی مهم و پرکاربرد است. اندازه‌گیری تنش به کمک تست نفوذ، شیوه‌ای نوین است که ضمن نیمه مخرب بودن می‌تواند تخمین دقیقی از تنش‌های پسماند سطحی فراهم کند. در این مطالعه، تنش‌های پسماند با استفاده از منحنی نیرو-عمق نفوذ با استفاده از فرورونده بیضی‌گون تعیین گردیدند. در تخمین تنش‌ها شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شد. شبکه عصبی با استفاده از داده‌های حاصل از تحلیل‌های اجزاء محدود آموزش داده شد و به کمک آن تنش‌های پسماند با دقت مناسب تخمین زده شد.

مقدمه:

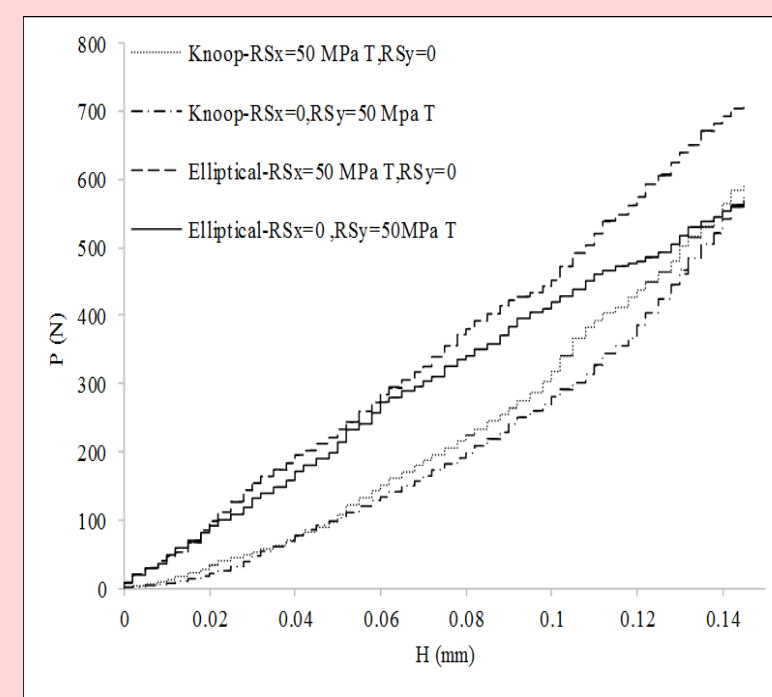
عملکرد مکانیکی مواد و بسیاری از خواص فلزات و سازه‌ها مانند استحکام خستگی و استاتیکی، چقرمگی شکست، پایداری ابعادی و ... توسط تنش‌های پسماند تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به دلیل اهمیت نقش تنش‌های پسماند در واماندگی مواد و از طرفی همه‌گیر بودن این نوع تنش‌ها در مواد مختلف، دانستن آن‌ها به منظور پیشگویی مقاومت سازه‌های مهندسی بسیار ضروری است. یکی از روش‌های اندازه‌گیری تنش‌های پسماند روش نفوذ است. در تست‌های نفوذ از یک فرورونده با هندسه‌ی مشخص استفاده می‌گردد که با نیروی معینی در جسم فرو می‌رود. روندهای گوناگونی برای تعیین تنش‌های پسماند به روش نفوذ وجود دارد که در برخی از آن‌ها از منحنی نیرو-عمق نفوذ بهره گرفته می‌شود. به عبارتی، با تحلیل انحراف منحنی نیرو-عمق نفوذ نمونه‌ی حاوی تنش نسبت به منحنی نمونه‌ی ایده‌آل بدون تنش می‌توان تنش‌های پسماند را اندازه‌گیری نمود. در این شیوه‌ی اندازه‌گیری تنش از فرورونده‌های گوناگونی استفاده می‌شود که در دو دسته تیز و کروی دسته‌بندی می‌شوند. هر یک از این فرورونده‌ها در به کارگیری برای اندازه‌گیری تنش‌های پسماند مزایا و معایب خاص خود را دارند. استفاده از فرورونده‌ی جدید که مزایای هر دو گروه را داشته باشد و معایب آن‌ها را تا حد امکان پوشش دهد؛ می‌تواند در بهبود عملکرد تست نفوذ در اندازه‌گیری تنش اثر چشم‌گیری داشته باشد. از این رو در این پژوهش به اندازه‌گیری تنش‌های پسماند به کمک فرورونده‌ی بیضی‌گون پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش:

اندازه‌گیری تنش‌های پسماند با استفاده از روش نفوذ در سال ۱۹۹۸ برای اولین بار به عنوان روشی مناسب، مطرح شد. این روش برای تعیین تنش‌های پسماند سطحی و کرنش پسماند پلاستیک در عمقی که حداقل چندین برابر بزرگتر از قطر اثر می‌باشد، کاربرد دارد [۱]. چن و همکاران [۲] در مطالعه‌ی خود با استفاده از آنالیز المان محدود تأثیر تنش‌های پسماند صفحه‌ای را روی پارامترهای اندازه‌گیری سختی، سفتی و حجم ماده بررسی کردند. در این پژوهش با استفاده از فرورونده راکول مشخص شد که تنش‌های پسماند بر سختی تماس، سختی باربرداری و فرآیند نفوذ تأثیر گذار است. لارسن [۳] به بررسی تأثیر زاویه سمیه روی تعیین تنش‌های پسماند و میدان کرنش در آزمایش تعیین تنش‌های پسماند با استفاده از اندازه‌گیری سختی پرداخت. از سایر مطالعه‌های صورت گرفته می‌توان به فعالیت‌های محمودی و همکاران [۴ و ۵] اشاره نمود که با بهره‌گیری از شبکه عصبی، به اندازه‌گیری تنش‌های پسماند با نفوذ کروی پرداختند. همچنین، آن‌ها در پژوهشی موفق به حذف نیاز به بررسی نمونه‌ی مرجع در اندازه‌گیری تنش با آزمایش نفوذ شدند.

مطالعات عددی و تجربی:

در این پروژه پس از شبیه‌سازی فرایند نفوذ و اطمینان از کاربردی بودن این نوع فرورونده به بررسی اثر تغییر متغیرهای مختلف بر نمودار نیرو-عمق نفوذ پرداخته شد. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از مطالعه آزمایشگاهی اعتبارسنجی شدند. شکل (۱) تصویری از فرورونده ساخته شده را نشان می‌دهد. در ادامه، بر روی یک نمونه‌ی دو محوری متقاطع با تنش‌های اعمالی مختلف، آزمایش نفوذ انجام شد و منحنی نیرو-عمق نفوذ هر یک استخراج شدند. جهت بررسی مزایا و معایب فرورونده‌ی جدید نسبت به فرورونده‌های موجود، این آزمایش‌ها با فرورونده‌ی نوپ تکرار شدند (شکل ۲). سپس به منظور تخمین تنش‌های پسماند موجود در ماده، الگوریتمی بر مبنای شبکه عصبی پیشنهاد شد و با استفاده از آن تنش‌های اعمالی به نمونه دو محوری متقاطع تخمین زده شدند و مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. نتایج تست شبکه عصبی در جدول (۱) و نتایج تخمین تنش با استفاده از داده‌های عددی و آزمایشگاهی همچنین مقادیر محاسبه شده‌ی تئوری در جدول (۲) آورده شده است. نمودارهای نشان داده شده در شکل های (۳) و (۴) برای سهولت مقایسه، داده‌های مربوط به جداول (۱) و (۲) رسم گردیده‌اند.



شکل ۲ مقایسه نمودارهای نوپ و بیضی‌گون



شکل ۱ فرورونده ساخته شده

نتیجه‌گیری:

نتایج کلی پروژه را می‌توان در قالب موارد زیر بیان نمود:

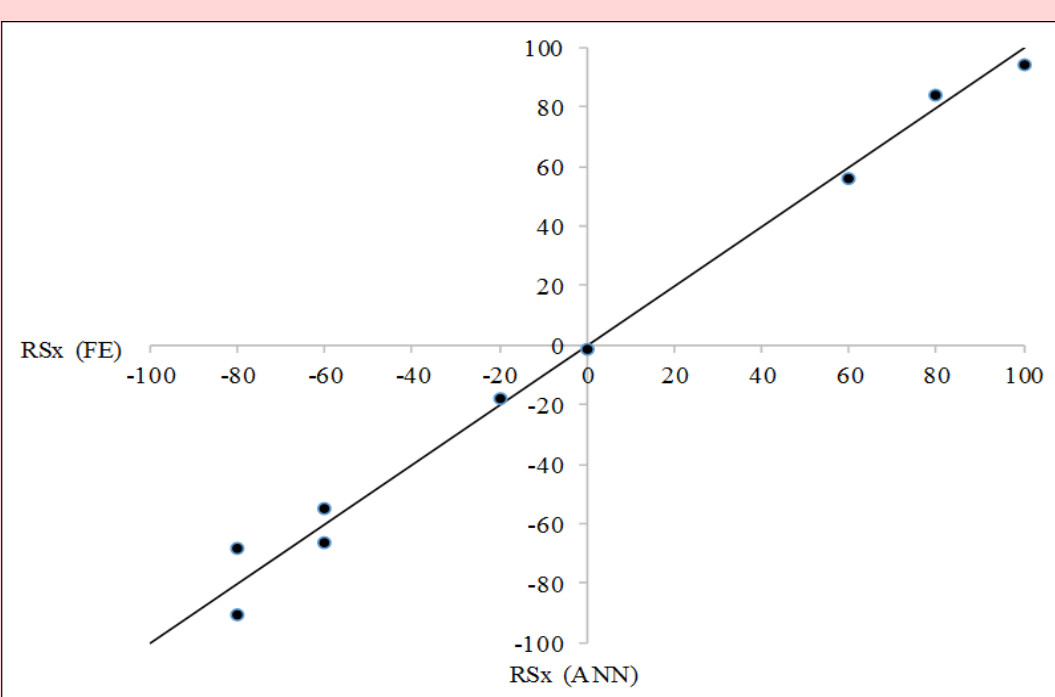
۱. اثر ضریب اصطکاک در محل تماس نمونه و فرورونده بر منحنی نیرو-عمق نفوذ زیاد است و قابل چشم‌پوشی نیست.
۲. تأثیر تنش‌های پسماند کششی بر انحراف منحنی نیرو-عمق نفوذ نسبت به حالت ایده‌آل بدون تنش بیشتر از تنش‌های پسماند فشاری است؛ یعنی به ازای تنش‌هایی با اندازه یکسان، تنش‌های کششی منحنی نیرو عمق نفوذ را بیشتر از تنش‌های فشاری منحرف می‌کند (شکل ۵).
۳. نمودارهای نیرو-عمق نفوذ به دست آمده از تست نفوذی که در آن قطر بزرگ فرورونده با تنش با اندازه‌ی بزرگتر هم جهت است، نسبت به حالتی که قطر بزرگ فرورونده عمود بر جهت تنش با اندازه‌ی بزرگتر است، به نمودار ماده بدون تنش عمود باشد، نزدیک‌تر است (شکل ۶).
۴. در تنش‌های یکسان، در مقایسه با نمودار نیرو-عمق نفوذ حاصل از فرورونده‌ی نوپ، نمودار نیرو-عمق نفوذ حاصل از فرورونده پیشنهادی نسبت به حالت بدون تنش تفاوت فاحش‌تری دارند.
۵. پراکندگی در داده‌های حاصل از تست نفوذ با فرورونده‌ی پیشنهادی کمتر از داده‌های حاصل از تست نفوذ با ایندنتور نوپ است. به عبارت دیگر فرورونده‌ی پیشنهادی دقت بالاتری نسبت به فرورونده‌ی نوپ دارد. به ویژه در مقادیر بالای نیرو و عمق نفوذ.
۶. خطاهای بسیاری در طی فرایند تخمین تنش‌های پسماند وجود دارد مانند: خطا در به دست آوردن پارامترهای منحنی نیرو-عمق نفوذ، خطاهای ناشی از محاسبات شبکه عصبی، خطاهای ناشی از آزمایش نفوذ، خطاهای ناشی از شبیه‌سازی ایده‌آل فرایند نفوذ و ... که همگی این عوامل، صحت و دقت نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

جدول ۱ نتایج تست شبکه عصبی

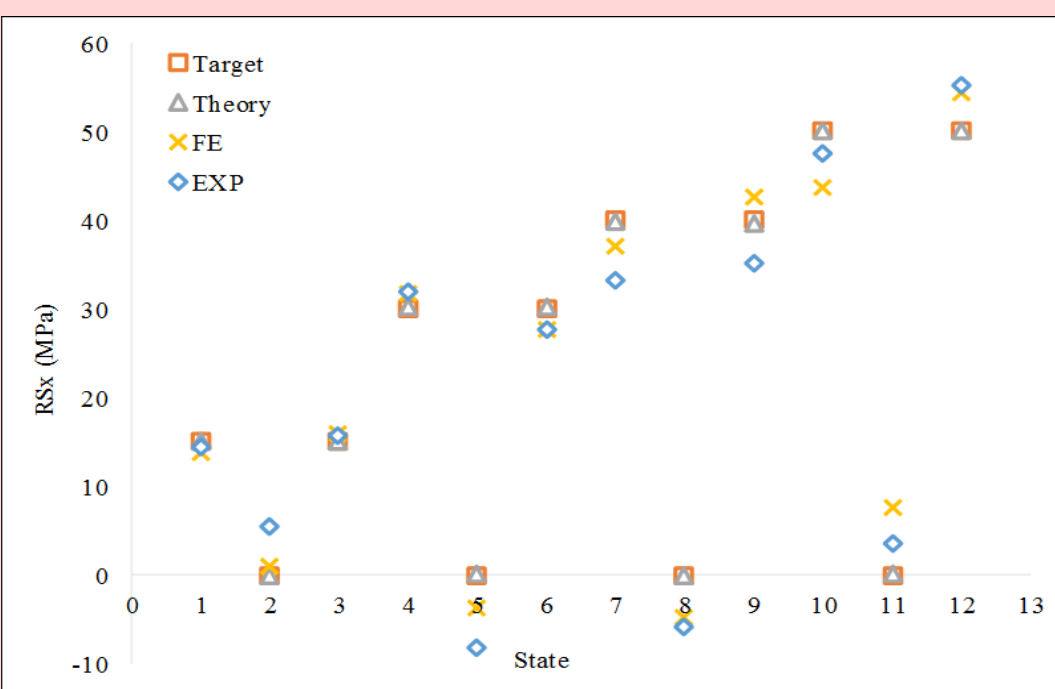
State	RSx (FE)	RSx (ANN)	Error(%)	RSy (FE)	RSy (ANN)	Error(%)
1	100	113.7786	13.77	60	54.27143	9.54
2	100	111.0088	11.00	40	44.99166	12.47
3	100	117.5822	17.58	20	22.89783	14.48
4	100	106.7705	6.77	0	5.165194	-
5	-20	-17.9747	10.12	100	86.02367	13.97
6	100	94.46568	5.53	-80	-85.119	6.39
7	80	83.68568	4.60	-20	-21.1315	5.65
8	-60	-54.9385	8.43	80	72.64151	9.19
9	60	55.84529	6.92	-60	-53.1657	11.39
10	-60	-66.6053	11.00	40	42.07835	5.19
11	-80	-68.5003	14.37	20	21.05006	5.25
12	0	-1.22373	-	-20	-20.9214	4.60
13	-80	-90.7463	13.43	0	3.11723	-

جدول ۲ نتایج تخمین تنش با استفاده از داده‌های عددی و آزمایشگاهی و مقادیر محاسبه شده‌ی تئوری

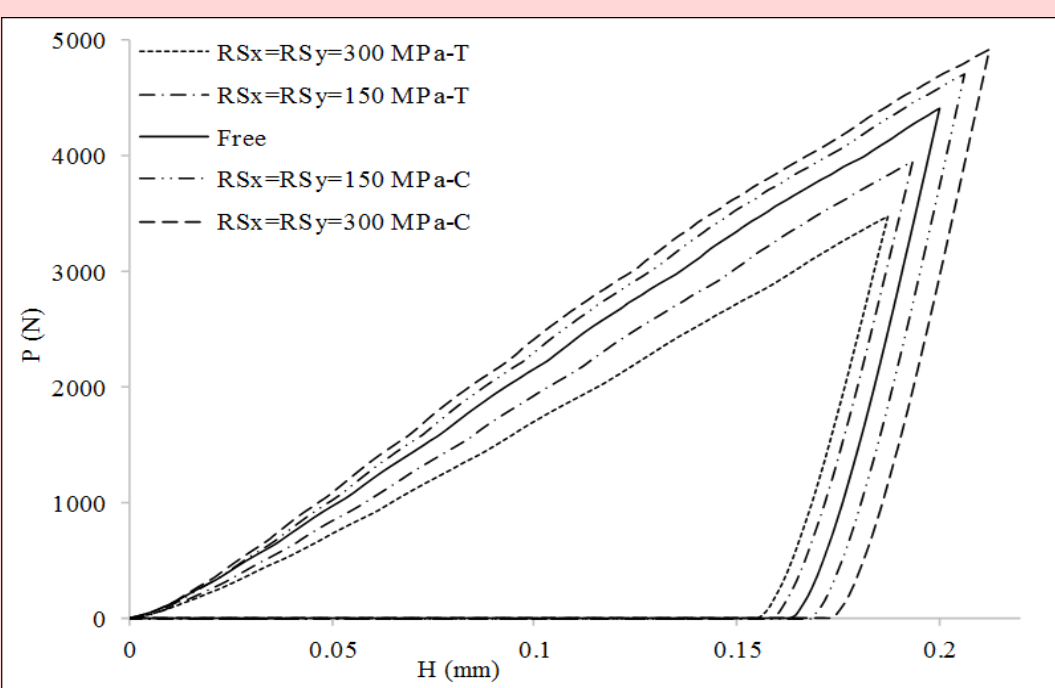
State	Target Stress	RSx (Theory)	RSx (FE)	RSx (EXP)	Target Stress	RSy (Theory)	RSy (FE)	RSy (EXP)
1	15	15.07463	13.89802	14.35347	0	0.074627	-7.70938	-7.08736
2	0	-0.00393	1.02727	5.533551	15	15.0487	17.15646	16.70175
3	15	15.14925	15.8227	15.63283	15	15.14925	17.14689	12.35191
4	30	30.14925	31.67806	31.85203	0	0.149254	-1.76706	1.508126
5	0	0.149254	3.67834	8.2549	30	30.14925	25.08549	33.09754
6	30	30.29851	27.60654	27.60816	30	30.29851	33.71351	31.75514
7	40	39.85075	37.16219	33.3114	0	-0.14925	-3.99942	4.521283
8	0	-0.14925	4.87909	5.93696	40	39.85075	42.41542	44.87723
9	40	39.70149	42.58307	35.09018	40	39.70149	44.96153	35.29987
10	50	50.07463	43.7209	47.55404	0	0.074627	-7.56705	4.708842
11	0	0.074627	7.673113	3.555322	50	50.07463	42.07281	47.05464
12	50	50.14925	54.36825	55.16256	50	50.14925	41.80916	43.56763



شکل ۳ مقایسه نتایج تست شبکه عصبی برای ماده AI-7020-O تنش‌های در راستای قطر بزرگ RSY تنش‌های در راستای قطر کوچک

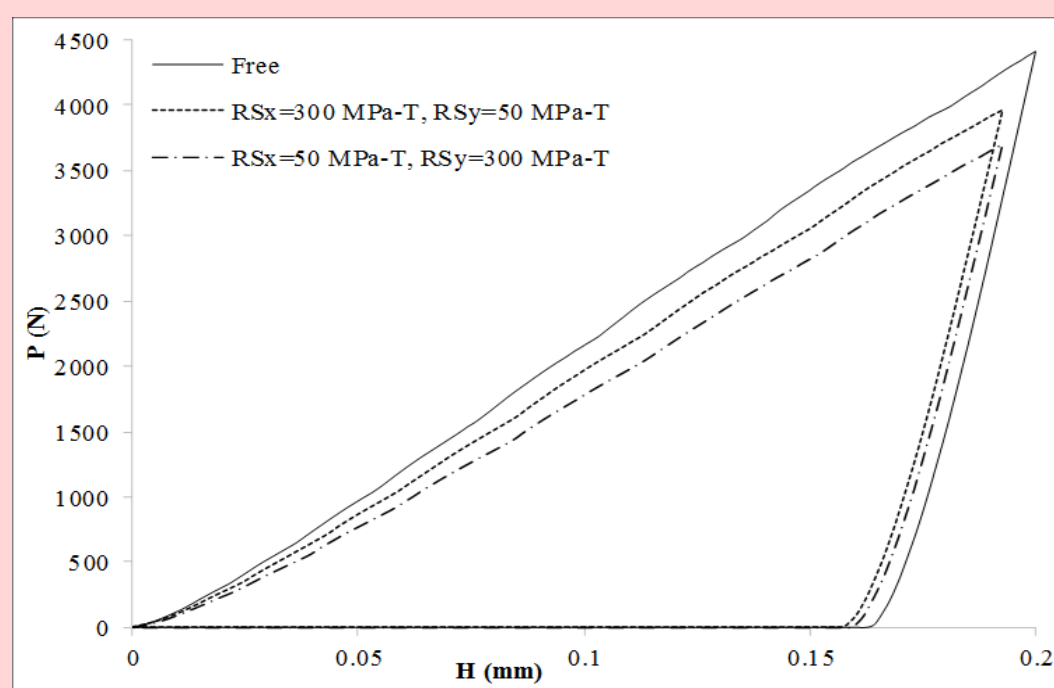


شکل ۴ مقایسه نتایج اندازه‌گیری تنش دو محوری متقاطع با استفاده از روش تئوری و داده‌های روش عددی و آزمایشگاهی برای ماده AI-7020-O تنش‌های در راستای قطر بزرگ RSY تنش‌های در راستای قطر کوچک



شکل ۵ مقایسه نمودارهای نیرو-عمق نفوذ

به دست آمده از نمونه‌هایی با تنش‌های مختلف



شکل ۶ مقایسه نمودارهای نیرو-عمق نفوذ به دست آمده از تست نفوذ در دو جهت متفاوت (راستای X راستای قطر بزرگ فرورونده است.)

مراجع:

- [1] S. Suresh, A.E. Giannakopoulos. 1998. A new method for estimating residual stresses by instrumented sharp indentation. Acta Metallurgica. 40:1191-1198.
- [2] X. Chen, J. Yan, A.M. Karlsson. 2006. On the determination of residual stress and mechanical properties by indentation. Materials Science and Engineering A. 416:139-149.
- [3] P.L. Larsson. 2007. Influence from the inclined angle of the indenter for determination of residual stress and strain fields by sharp indentation testing. Journal of Materials Processing Technology. 184:372-378.
- [4] A.H. Mahmoudi, M. Ghanbari-Matloob, S. Heydarian. 2014. A neural networks approach to measure residual stresses using spherical indentation. Materials Science Forum. 768-769:114-119.
- [5] A.H. Mahmoudi, M. Ghanbari-Matloob, S.H. Nourbakhsh. 2015. A novel method to determine material properties and residual stresses simultaneously using spherical indentation. Journal of Testing and Evaluation. 43(1):87-95.