ISME

Certificate

TMU

ISME 2017

«گواهی ارائه مقاله»

با اهدای سلام و احترام، بدینوسیله گواهی میشود فرهیخته گرامی؛ سرکار خانم /جناب آقای

نرجس ولیان ایرج، عبدالرحمان جامی الاحمدی

در بیست و پنجمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک ایران ISME2017، که از تاریخ ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۶ در

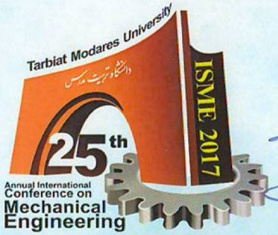
دانشگاه تربیت مدرس با همکاری انجمن مهندسان مکانیک ایران برگزار شد حضور داشته و مقاله خود را با عنوان

بررسی فرآیند کشش لوله بااستفاده از مدل آسیبGTN

در نشست علمی کنفرانس ارائه نموده اند. امیدوار است که همایش بین المللی مهندسی مکانیک ایران در سال های آینده نیز شاهد حضور ارزنده حضرتعالی باشد.

باآرزوی مزید توفیقات

دکتر غلامحسین لیاقت
دبیر همایش



دکتر اکبرعلی بیگلو
دبیر علمی

بیست و پنجمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک ایران
تهران-دانشگاه تربیت مدرس – ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

ISME2017-2315

بررسی فرآیند کشش لوله بااستفاده از مدل آسیب GTN

نرجس ولیان ایرج[۱]، عبدالرحمن جامی‌الاحمدی[۲]

گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

چکیده

شکست نرم در نتیجه رشد و انعقاد حفره‌هاست. از میان مدل‌های مختلف آسیب، مدل آسیب GTN به‌علت درنظرگرفتن رشد و انعقاد حفره‌ها به طور وسیع در مدل‌سازی شکست نرم استفاده می‌شود. در این مقاله برای شبیه‌سازی فرآیند کشش لوله جهت پیش‌بینی حد کشش از الگوی ماده همگن با رفتار الاستیک- پلاستیک همسان‌گرد، مدل آسیب GTN موجود در نرم‌افزار آباکوس و هم‌چنین از طریق کدنویسی در زیربرنامه VUMAT، استفاده شده‌است. به‌منظور اعتبارسنجی کد نوشته شده، نتایج شبیه‌سازی با مدل پلاستیسیته فلزات متخلخل موجود در نرم‌افزار آباکوس مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرد. تطابق خوبی بین نتایج این دو مدل مشاهده می‌شود.

واژه های کلیدی: *شکست نرم - مدل آسیب GTN - فرآیند کشش لوله*

مقدمه

کشش لوله یکی از فرآیندهای شکل‌دهی توده‌ای می‌باشد. در این فرآیند، لوله طویلی، به‌منظور کاهش متوالی سطح مقطع اصلی از طریق تغییر شکل‌پلاستیک از داخل قالب کشیده می‌شود. از آنجا که یکی از دغدغه-های مهم در فرآیندهای شکل‌دهی فلزات بهبود مستمر بهره‌وری و کیفیت محصول می‌باشد، تولید لوله بدون هیچگونه عیب یا پارگی، از اهمیت زیادی برخوردار است. در طول فرآیند، مراحل کشش باید به گونه‌ای تعیین شوند که لوله تا نزدیک به حد گسیختگی تغییر شکل پلاستیک دهد ولی این پدیده رخ ندهد [۱]. به این ترتیب بهینه‌سازی فرآیند ملزم به استفاده از معیارهای شکست خواهد شد.

تاکنون معیارهای شکست متعددی جهت پیش‌بینی نحوه رشد و توزیع آسیب در فرآیندهای مکانیکی مختلف ارائه شده‌اند. معیارهایی از قبیل فون‌میزز که تاثیر تنش هیدروستاتیک را در تسلیم مواد نرم در نظر نمی-گیرد. از طرفی تسلیم مواد نرم با جوانه‌زنی، رشد و سرانجام انعقاد حفره‌ها جهت تشکیل ریزترک همراه است. این موضوع نه تنها به تنش موثر، بلکه به تنش هیدروستاتیک نیز بستگی دارد [۲]. برای این منظور معیار مورد بررسی در این پژوهش که اثر کرنش سختی و اثر متقابل حفره‌ها را لحاظ می‌کند، معیار گارسون-تورگارد-نیدلمن یا به اختصار مدل GTN می‌باشد.

مدل GTN

معادلات حاکم بر مدل آسیب GTN مبتنی بر رشد یک حفره کروی در یک المان حجمی از ماده زمینه صلب-کاملا پلاستیک بدون سخت شوندگی و با استفاده از قضیه حد بالای پلاستیسیته می‌باشد. این مدل برای ماده شکل‌پذیر متخلخل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varphi = \frac{\sigma_e^2}{{\sigma_m}^2} + 2q_1 f^* \cosh\left(q_2 \frac{3\sigma_h}{2\sigma_m}\right) - (1 + q_3 f^{*2}) = 0 \qquad (۱)$$

$$\sigma_h = (-1/3)\sigma_{kk} \qquad \text{و} \qquad \sigma_{kk} = \delta_{ij}\sigma_{ij} \qquad (۲)$$

$$\sigma_e = \left(\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{و} \qquad s_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_{kk}\delta_{ij} \qquad (۳)$$

در روابط بالا، σ_e تنش معادل فن‌میزز، σ_h تنش هیدروستاتیک، s_{ij} تنش انحرافی تانسور تنش σ_{ij}، δ_{ij} دلتای کرونیکر و i, j = 1, 2, 3 می‌باشد. تنش سیلان ماده زمینه یعنی σ_m، که تابع کرنش معادل پلاستیک بوده و از رفتار کرنش سختی ماده تبعیت می‌کند.

همچنین ضرایب تصحیح q_1، q_2 و q_3 پارامترهای وابسته به ماده و f^* کسر حجمی حفره با در نظر گرفتن انعقاد حفره‌ها می‌باشد که به‌صورت تابعی از f بیان می‌گردد:

$$f^* = \begin{cases} f & f \le f_c \\ f_c + \frac{f_u^* - f_c}{f_f - f_c}(f - f_c) & f > f_c \end{cases} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، f یا کسر حجمی حفره به صورت نسبت حجم کل حفره‌ها به حجم کل ماده زمینه بیان می‌شود. f_f مقدار کسر حجمی حفره درمرحله واماندگی یا شکست(لحظه‌ای‌که ظرفیت تحمل تنش از بین می-رود) و f_c کسر حجمی حفره در وضعیت بحرانی که f شروع به انحراف از f^* می‌کند، می‌باشد. f_u^* نیز مقدار نهایی f^* در شکست نرم است [۳].

در این پژوهش روابط ساختاری بین تنش و کرنش با استفاده از قانون سخت‌شوندگی سوئیفت مطابق با رابطه ۵ بیان می‌شود و در آن k ضریب استحکام ماده، n توان کرنش سختی و $\bar{\varepsilon}_m^{pl}$ کرنش پلاستیک ماکروسکوپی می‌باشد که براساس تئوری کار پلاستیک موثر از رابطه ۶ بدست می‌آید:

$$\sigma_m = k(\varepsilon_0 + \bar{\varepsilon}_m^{pl})^n \qquad (۵)$$

$$(1-f)\sigma_m d\bar{\varepsilon}_m^{pl} = \boldsymbol{\sigma} : d\boldsymbol{\varepsilon}^p \qquad (۶)$$

نمو کرنش پلاستیک براساس قانون جریان وابسته به تابع تسلیم، از رابطه زیر بدست می‌آید [۴]:

$$d\boldsymbol{\varepsilon}^p = d\lambda \frac{\partial \varphi}{\partial \boldsymbol{\sigma}} = \frac{1}{3}\Delta\varepsilon_{\sigma_h}\boldsymbol{I} + \Delta\varepsilon_{\sigma_e}\boldsymbol{n} \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، $\boldsymbol{I}$ تانسور واحد مرتبه دو و $\boldsymbol{n} = \frac{3}{2\sigma_e}\boldsymbol{S}$ بیانگر جهت جریان می‌باشد. هم‌چنین نمو کرنش‌های هیدروستاتیک و انحرافی برابر است با:

$$\Delta\varepsilon_{\sigma_e} = d\lambda \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma_e} \quad \text{و} \quad \Delta\varepsilon_{\sigma_h} = -d\lambda \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma_h} \qquad (۸)$$

با محاسبه $d\lambda$ برحسب نمو کرنش انحرافی و جای‌گذاری در رابطه نمو کرنش هیدروستاتیک، $d\lambda$ حذف شده و رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta\varepsilon_{\sigma_h}\frac{\partial \varphi}{\partial \sigma_e} + \Delta\varepsilon_{\sigma_e}\frac{\partial \varphi}{\partial \sigma_h} = 0 \qquad (۹)$$

رابطه (۹) و رابطه مربوط به تابع پتانسیل GTN (رابطه ۱)، دستگاه معادلات غیرخطی را تشکیل می‌دهند که با استفاده از روش تکراری نیوتن در نموهای گسسته حل می‌شود. جهت شبیه‌سازی شکست نرم بااستفاده از مدل GTN به چندین خاصیت ماده به عنوان ورودی پارامترهای گارسون نیاز است. این پارامترها عبارت‌اند از: f_n (کسر حجمی جوانه‌زنی حفره‌های جدید)، S_n (انحراف استاندارد توزیع حفره‌ها)، ε_n (کرنش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک
۲- استادیار گروه مکانیک، 051 38805034، jaami-a@um.ac.ir (نویسنده مخاطب)

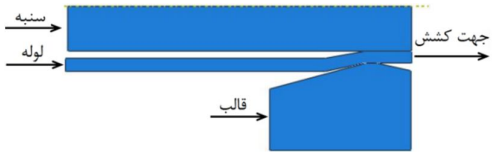
میانگین جوانه‌زنی)، f_0 (کسر حجم حفره اولیه)، f_c، f_f و پارامتر تصحیح سطوح تسلیم q_1، q_2 و q_3. مقادیر پارامترها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل آسیب GTN برای فولاد API X65 [۵]

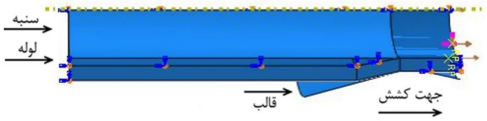
پارامتر	مقدار ثابت	پارامتر	مقدار ثابت
f_0	۰/۰۰۰۱۲۵	S_n	۰/۱
f_c	۰/۰۱۵	q_1	۱/۵
f_f	۰/۲۵	q_2	۱
f_n	۰/۰۰۰۸	q_3	۲/۲۵
ε_n	۰/۳		

شبیه‌سازی اجزای محدود

برای بررسی حد کشش در فرآیند کشش لوله، به‌علت وجود تقارن هندسی تنها یک چهارم مدل اصلی مطابق شکل (۱) در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی شده است. در عمل، جنس قالب و سنبه باید بسیار سخت‌تر از جنس لوله باشند؛ بنابراین در شبیه‌سازی قالب و سنبه به‌عنوان مواد کاملا صلب و لوله به‌عنوان ماده شکل‌پذیر در نظر گرفته شده‌اند. تعداد المان‌های در نظر گرفته شده برای لوله ۲۱۱۲ می‌باشد که به‌صورت المان‌های سه‌بعدی و ۸ گره‌ای با کاهش نقاط انتگرال‌گیری (C3D8R) مدل‌سازی شده است. شرایط مرزی به این صورت است که قالب در طول فرآیند ثابت بوده و سنبه و لوله با سرعت ثابت نسبت به آن حرکت می‌کنند (شکل ۲). جنس لوله مورد استفاده در این فرآیند فولاد API X65 می‌باشد. این فولاد به طور گسترده در خطوط انتقال گاز طبیعی ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. خواص مکانیکی لوله در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. همچنین ثوابت رابطه سوئیفت برای فولادAPI X65 عبارت است از: K=۱۶۴۶، n=۰/۲۴ و ε_0 = ۰/۰۲۳



شکل ۱- هندسه لوله، قالب و سنبه



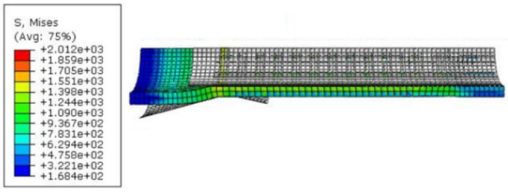
شکل ۲- شرایط مرزی لوله و ابزارها (قالب و سنبه)

جدول ۲- خواص مکانیکی لوله API X65 [۵]

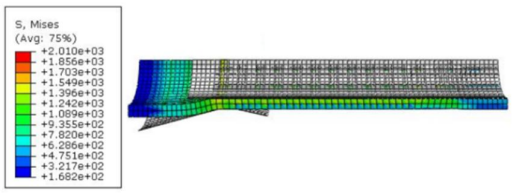
E (GPa) (مدول یانگ)	۲۱۰/۷
ν (نسبت پواسون)	۰/۳
ρ ($kg\,m^{-3}$) (چگالی)	۷/۸×۱۰^{۳}

ارایه نتایج و بحث

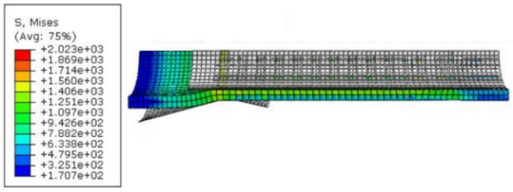
فرآیند کشش لوله با استفاده از سه مدل الاستیک-پلاستیک، پلاستیسیته مواد متخلخل موجود در نرم‌افزار آباکوس و به‌کمک زیربرنامه VUMAT نوشته شده، شبیه‌سازی شد. کانتور تنش موثر حاصل از آن‌ها به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است.



شکل ۳- کانتور تنش تسلیم با استفاده از مدل الاستیک- پلاستیک



شکل ۴- کانتور تنش تسلیم با استفاده ازمدل پلاستیسیته متخلخل



شکل ۵- کانتور تنش تسلیم با استفاده از زیربرنامه VUMAT

نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرآیند کشش لوله براساس مدل الاستیک- پلاستیک و مدل آسیب GTN موجود در نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شود. همچنین کدنویسی مدل GTN در زیربرنامه VUMAT انجام گرفته و دستگاه معادلات غیرخطی با روش نیوتن حل شده‌اند. به‌منظور اعتبارسنجی کد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی براساس آن با مدل آسیب GTN مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد تطابق خوبی بین این دو مدل وجود دارد. همچنین زیربرنامه VUMAT به‌علت درنظر گرفتن اثر انعقاد حفره‌ها، پیش‌بینی بهتری از کشش لوله نسبت به مدل الاستیک- پلاستیک دارد.

مراجع منتخب

[1] Linardon, C., Favier, D., Chagnon, G. and Gruez B. 2014. "A conical mandrel tube drawing test designed to assess failure criteria", *Journal of Materials Processing Technology*, 214, pp 347–357.

[2] Shterenlikht, A. and Alexander, N.A., 2012. "Levenberg–Marquardt vs Powell's dogleg method for Gurson–Tvergaard–Needleman plasticity model", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 237, pp.1-9.

[3] Chang-Kyun, O., Yun-Jae, K., Jong-Hyun, B., Young-Pyo, K., Woosik, K., 2007. "A phenomenological model of ductile fracture for API X65 steel" , *International Journal of Mechanical Sciences*, 49, PP. 1399–1412.

[4] Li, H., Yang, H., Lu, R.D. and Fu, M.W., 2016 "Coupled modeling of anisotropy variation and damage evolution for high strength steel tubular materials", *International Journal of Mechanical Sciences*, 105, pp 41–57.

[5] Abbasi, M., Ketabchi, M., Izadkhah, H., Fatmehsaria, D. H. and Aghbash, A. N., 2011. "Identification of GTN model parameters by application of response surface methodology", *Procedia Engineering*, 10, pp 415–420.