

# بررسی روشهای بازرسی درون خطی خطوط لوله

هادی ابراهیم فتح آبادی

مدیریت برنامه ریزی تلفیقی - شرکت ملی نفت ایران

[hadifathabadi@yahoo.com](mailto:hadifathabadi@yahoo.com)

## چکیده :

یک خط لوله در حال استفاده توسط علل مختلفی مانند خوردگی، حفره دارشدن، ترک خوردگی تنشی، ترک جوشها و ضربه های مکانیکی، ممکن است دچار آسیب شود. رایج ترین علل آسیب به خطوط لوله از بین رفتن فلز از دیواره های لوله ناشی از خوردگی و یا آسیب های مکانیکی می باشد. تخریب های خوردگی در یک خط لوله به صورت های گوناگونی رخ می دهد که بعضی نسبتاً به سادگی قابل تشخیص هستند و تشخیص برخی دیگر نیازمند ادوات و روشهای خاص می باشد. انتخاب بهترین وسیله بازرسی اغلب به نوع کاربرد، نوع مکانیزم خوردگی، محیط شیمیایی موجود و جنس لوله بستگی دارد. این مقاله روشهای مختلف مورد استفاده در تجهیزات بازرسی درون خطی خطوط لوله و مزایا و معایب هر روش را بررسی می کند. در حال حاضر روش نشر شار مغناطیسی، رایج ترین روش مورد استفاده در بازرسی درون خطی خطوط لوله است. تست جریان گردابی یک تست غیر تماسی و با سرعت نسبتاً پایین است که به حفظ فاصله از سطح جسم در هنگام تست حساس می باشد. آلتراسونیک روشی رایج و با دقت بالاست و استفاده گسترده ای در تشخیص انواع عیوب دارد. نشر صوتی هنوز به عنوان یک تکنولوژی رایج در بازرسی خطوط لوله مطرح نیست. استفاده از ترانس دیوسرهای صوتی الکترومغناطیسی نوعی روش نوین آلتراسونیک است که نیازی به استفاده از کوپلینگ مایع ندارد.

**کلمات کلیدی:** *نشت شار مغناطیسی، جریان گردابی، آلتراسونیک، نشر صوتی، ترانس دیوسرهای صوتی الکترومغناطیسی*

## ۱- مقدمه

در ارزیابی خطوط لوله روشهای مختلف تست های مخرب و غیر مخرب کاربرد دارند. تست های مخرب از جمله تست هیدرواستاتیک، قبل از قرارداد خط لوله در سرویس و یا پس

از انجام تعمیرات بر روی آن استفاده می شوند و در این تست ها، نوع و محل عیب بطور دقیق مشخص نمی شود، اما مقاوم بودن خط لوله در یک محدوده فشار عملیاتی مطمئن را می توان ارزیابی نمود. روشهای تست غیرمخرب نیز بسیار متنوع می باشند. نوع روش انتخابی بستگی به کیفیت ارزیابی مورد نیاز، نوع عیوب، جنس ماده، در نظر گرفتن هزینه و ... خواهد داشت، اما آنچه مسلم است این است که یک روش بازرسی برای مشخص کردن تمامی انواع عیوب مناسب نخواهد بود و برای ارزیابی کامل خط لوله باید از ترکیب روشهای مختلف استفاده نمود [۱-۶].

در ذیل انواع روشهای مورد استفاده در ادوات بازرسی درون خطی خطوط لوله مرور خواهد شد.

## ۲- نشت شار مغناطیسی<sup>۱</sup>

این روش رایج ترین روش مورد استفاده در ادوات بازرسی درون خطی خطوط لوله است. اساس کار بر مبنای اعمال یک میدان مغناطیسی قوی به دیواره خط لوله و استفاده از سنسورهای حساس برای تشخیص محل عیوب، با توجه به محل نشت شار مغناطیسی از سطح جسم فرومغناطیس می باشد (شکل یک). در صورتی که سطح جسم بدون عیب باشد تمامی شار مغناطیسی توسط سنسور دریافت می شود و در صورت وجود عیب در لوله، راستای شار مغناطیسی و مقدار آن تغییر خواهد کرد که قابل اندازه گیری است. تفسیر نتایج، از مقایسه نتایج بدست آمده از تست با نتایج تست های انجام شده با قطعات استاندارد حاصل می شود.

برخی از مزایای این روش به شرح ذیل است :

✓ قدرت ارزیابی با کیفیت های متفاوت (تعداد سنسورهای مورد استفاده، دقت ارزیابی را مشخص خواهد کرد).

✓ از آنجایی که امواج مغناطیسی در تغییر شکل های پلاستیکی تغییر می کنند، آسیب های مکانیکی را می توان با این روش مشخص کرد.

✓ برای تشخیص کاهش ضخامت خط لوله، انواع ترک در خط لوله، و نیز برای انواع خوردگی و حفره دار شدن به کار می رود.

برخی از معایب این روش به شرح ذیل است :

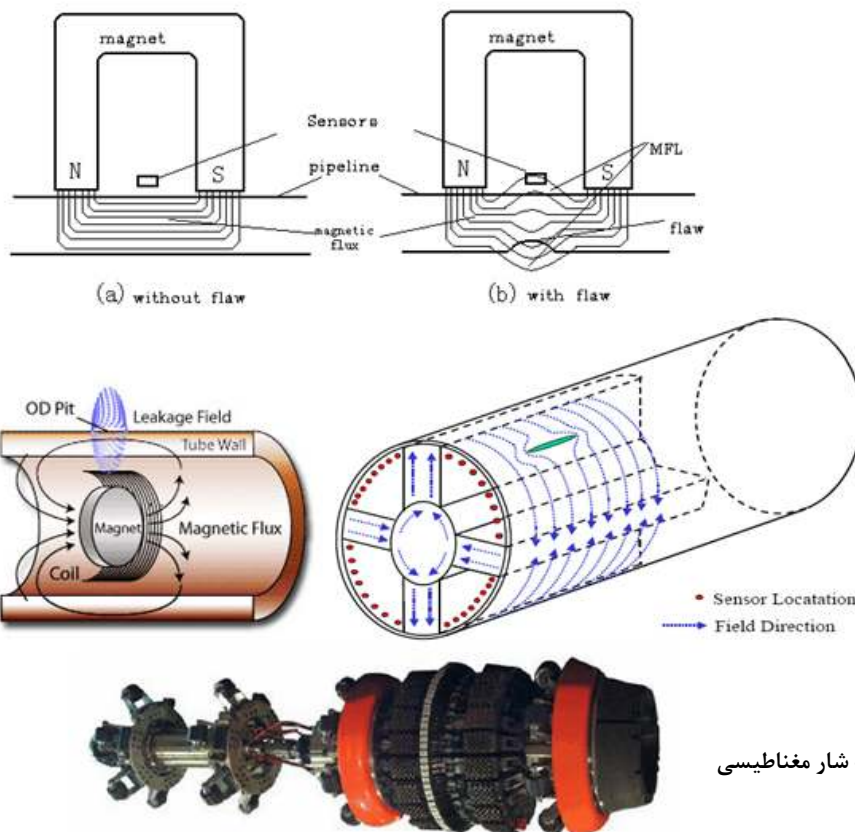
✓ فقط برای مواد فرومغناطیس کاربرد دارد.

✓ از آنجا که اکسید آهن یک ماده غیر فرومغناطیس است، در صورت تجمع اکسید آهن در درون خط لوله، حساسیت این روش در تشخیص عیب کاهش می یابد.

---

1 Magnetic Flux Leakage (MFL)

- ✓ حجم داده های بدست آمده زیاد و تفسیر مشکل است.
- ✓ نیاز به مغناطیسی کردن دائمی خط لوله
- ✓ محدودیت عبور جریان سیال در هنگام پیگ رانی
- ✓ برای مشخص کردن عیوب در جهات مختلف، خط لوله باید در جهات مختلف مغناطیسه شود.
- ✓ برای خطوط لوله با قطر پایین کاربرد ندارد [۴-۷].



شکل ۱ - تست نشت شار مغناطیسی

### ۳- جریان گردابی<sup>۲</sup>

این روش یک روش الکترومغناطیسی است که فقط در مواد رسانا کاربرد دارد و انواع عیوب را در اندازه های متفاوت شناسایی می کند. این روش در صنایع هوافضا، اتومبیل سازی و صنایع دریایی کاربرد فراوان دارد. وقتی یک پیچه دارای انرژی الکتریکی به سطح یک رسانا نزدیک شود، جریانهای سرگردان الکتریکی در جسم القاء می شوند. این جریانها، میدانهای مغناطیسی در جسم ایجاد می کنند

<sup>2</sup> Eddy Current (EC)

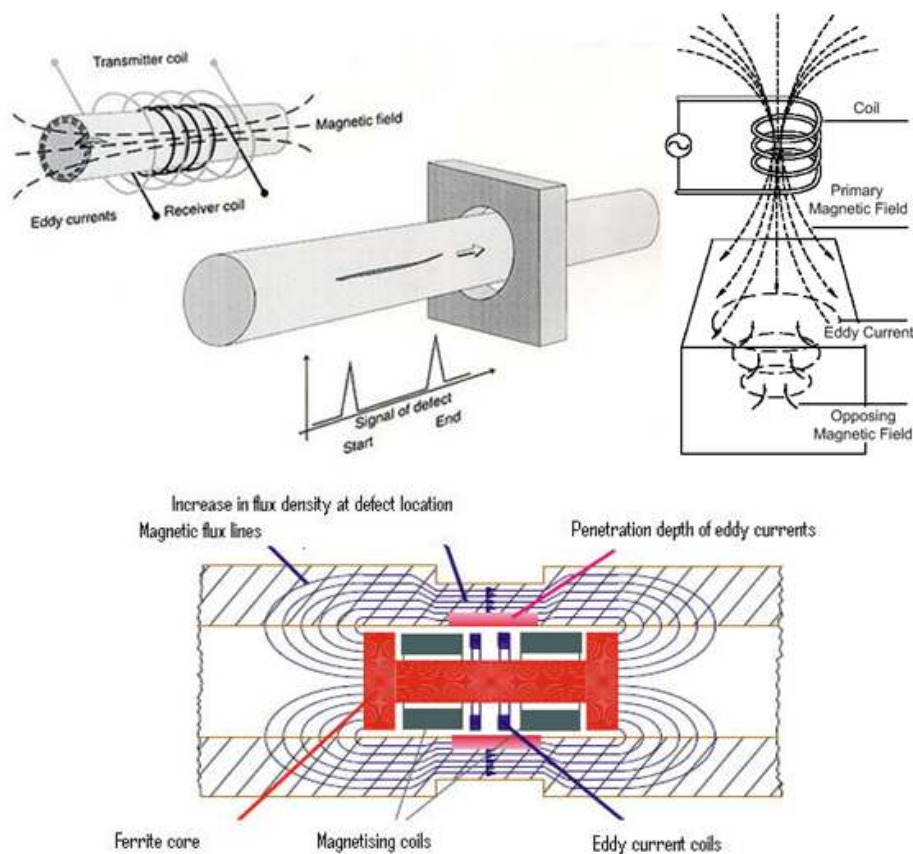
که با میدان مغناطیسی ناشی از جریانهای الکتریکی اولیه مخالفت می‌کنند. تغییرات ایجاد شده در امپدانس (مقاومت الکتریکی) پیچیده، به علت وجود عیب، مبنای تشخیص عیوب است (شکل ۲). برخی از مزایای این روش به شرح ذیل است:

- ✓ تست غیر تماسی است.
- ✓ پس از تست نیاز به تمیز کاری ندارد.
- ✓ جریانهای القاء شده توسط روش نشت شار مغناطیسی با سنسورهای روش جریان گردابی قابل شناسایی هستند.

برخی از معایب این روش به شرح ذیل است:

- ✓ سرعت تست پایین است.

✓ اجرای روش به حفظ فاصله تا سطح جسم حساس است [۹ و ۱۰].



شکل ۲ - تست جریان گردابی

#### ۴- آلتراسونیک<sup>۲</sup>

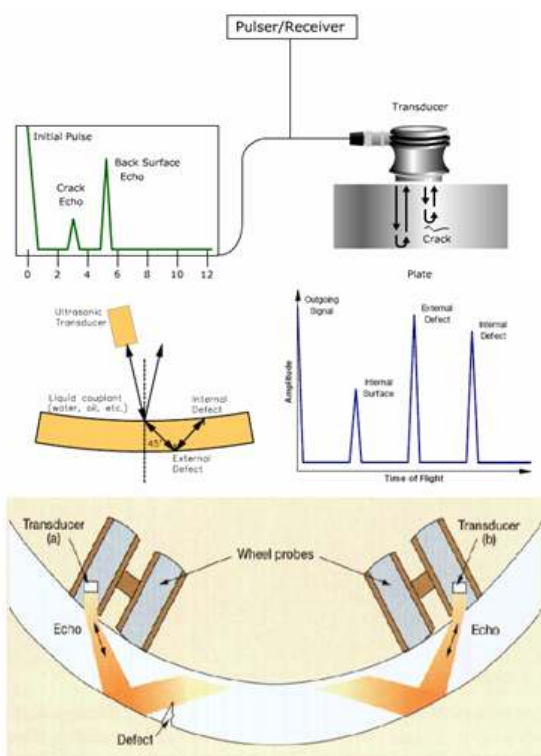
در این روش از ارسال امواج مافوق صوت با طول موج کوتاه و فرکانس بالا به داخل جسم و دریافت پالس های برگشتی و تفسیر آنها، برای تشخیص عیوب و اندازه گیری ضخامت استفاده می شود. ابزار آلتراسونیک نتایج را با دقت بسیار خوب ارائه می دهند. این روش برای مشخص کردن ترکهای ناشی از خوردگی (SCC, SSC, HIC, ...) بسیار کاربرد دارد. انواع دیگر عیوب از جمله کاهش ضخامت داخلی و خارجی، ناخالصیهای فلزی و غیر فلزی، عیوب جوشها و ... را می توان شناسایی کرد. این روش نیاز به ایجاد اتصال بین پیزوالکتریک و سطح جسم توسط یک کاپلینگ مایع دارد که در برخی از ادوات بازرسی، یک چرخ پر از مایع در تماس با جسم قرار می گیرد و پیزوالکتریک در داخل این چرخ گنجانده می شود (شکل ۳).

برخی از مزایای این روش به شرح ذیل است :

- ✓ اندازه گیری طول و عمق عیوب و قابلیت تکرار نتایج
- ✓ در ضخامت و قطر لوله مورد ارزیابی محدودیتی وجود ندارد.
- ✓ قابلیت اعمال در خمها، شیرها و جوشها
- ✓ دقت روش بالاست.

برخی از معایب این روش به شرح ذیل است :

- ✓ محدودیت عبور جریان سیال در هنگام پیگرانی با سنسورهای آلتراسونیک
- ✓ با توجه به نیاز پیزوالکتریکها به کاپلینگ مایع، در هنگام حرکت وسیله بازرسی در طول خط لوله، حفظ کردن تماس سنسور با کاپلینگ و با سطح لوله مشکل است، بخصوص در خطوط انتقال گاز این امر دشوارتر است [۱۰ و ۱۱].



شکل ۳- تست آلتراسونیک

## ۵- نشر صوتی<sup>۴</sup>

وقتی یک نیرو به جسم جامد اعمال می گردد، جسم تغییر شکل الاستیک می دهد و انرژی کرنشی الاستیک و توزیع تنش، در آن دچار تغییر می شوند. با افزایش نیرو تغییر شکل پلاستیکی میکروسکوپی در جسم ایجاد می شود که آزاد شدن انرژی الاستیکی ذخیره شده را به صورت امواج الاستیکی دربر خواهد داشت. اگر این امواج از یک حدی بیشتر شوند، می توان آنها را با ترانس دیوسرهای پیزوالکتریک حساس، به سیگنال های ولتاژی تبدیل کرد (شکل ۴).

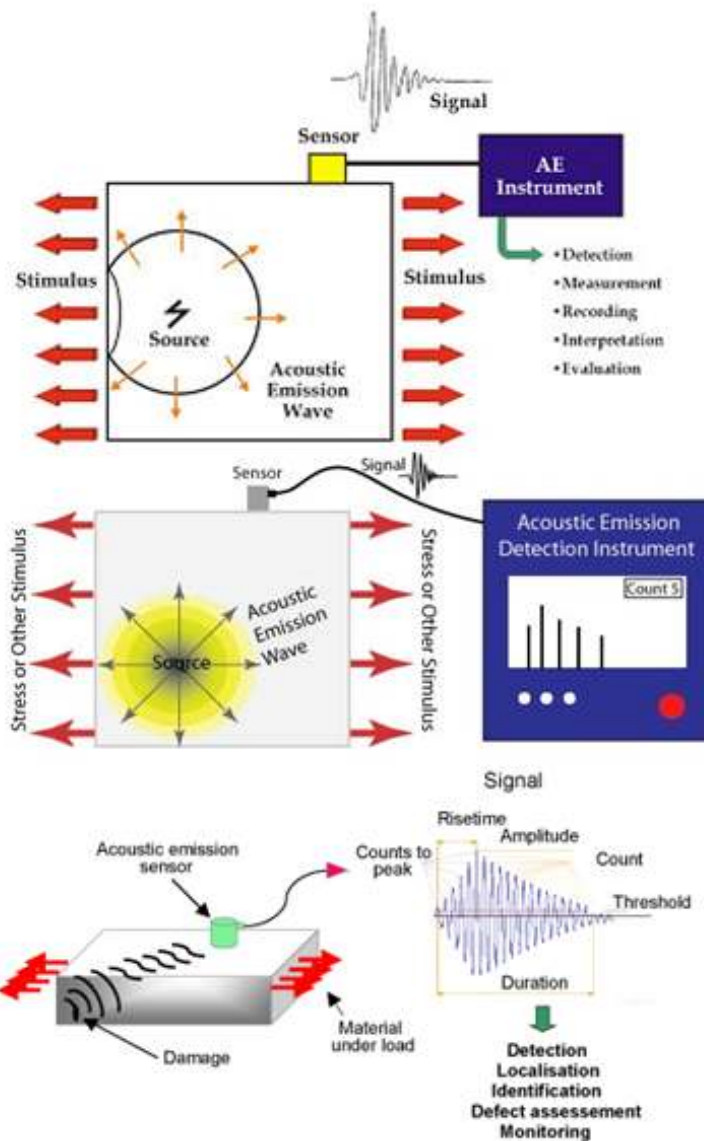
این روش شامل یک یا تعدادی ترانس دیوسر مافوق صوت است که با اتصال به قطعه و آنالیز اصوات تولیدی یا القایی در سیستم، تشخیص عیوب انجام می گیرد. اصوات منتشره ممکن است از رشد ترک، توربلانس (مانند ناشی) و تغییر در ماده مانند خوردگی باشد.

برخی از مزایای این روش به شرح ذیل است :

- ✓ تمامی ساختار از چند محل محدود قابل پایش می باشد.
- ✓ خط لوله را در حال استفاده و بدون قطع جریان می توان تست نمود.
- ✓ پایش پیوسته ممکن است.
- ✓ این روش قابلیت تمیز دادن عیوب در دیواره داخلی، بین دیواره و دیواره خارجی لوله را به خوبی داراست.
- ✓ در صورتی که انرژی کافی آزاد شود، تغییرات میکروسکوپی هم قابل مشاهده هستند.
- ✓ این روش برای تمامی مواد جامد قابل استفاده است (انواع فلزات و آلیاژها، بتن، کامپوزیتها و ...)
- ✓ قابلیت بازرسی نقاط با دسترسی محدود
- ✓ نیازی به ارسال امواج صوتی به داخل جسم ندارد.
- ✓ به همراه پیگرانی می تواند انجام شود.
- برخی از معایب این روش به شرح ذیل است :
- ✓ قابلیت وضوح محدود
- ✓ فقط قابلیت تشخیص عیوب، تغییرات و آسیب های فعال را دارد.
- ✓ هنوز به عنوان یک تکنولوژی رایج در بازرسی خطوط لوله مطرح نیست [۱۲و۱۳].

---

4 Acoustic Emission (AE)



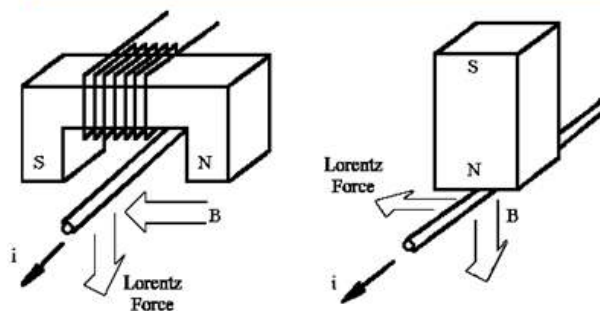
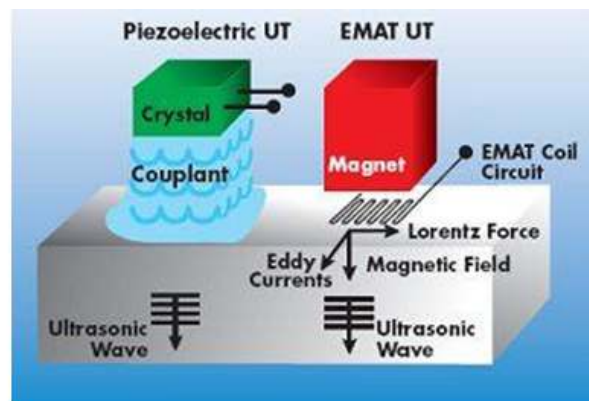
شکل ۴ - تست نشر صوتی

## ۶- ترانس دیوسرهای صوتی الکترومغناطیسی<sup>۵</sup>

این روش را می توان به عنوان یکی از روشهای نوین آلتراسونیک طبقه بندی کرد. EMAT دارای یک پیچه قرار گرفته در میدان مغناطیسی ایجاد شده در سطح داخلی دیواره لوله می باشد. عبور جریان متناوب از پیچه، یک جریان الکتریکی در دیواره لوله ایجاد می کند که به علت ایجاد نیروی لورنتز (نیروی اعمال شده به بار الکتریکی متحرک در میدان

<sup>5</sup> Electromagnetic Acoustic Transducer (EMAT)

- مغناطیسی)، امواج مافوق صوت ایجاد می شود. نوع و شکل ترانس دیوسر، انواع مدهای موج مافوق صوت تولیدی و خصوصیات گسترش آن در دیواره لوله را مشخص می کند.
- برخی از مزایای این روش به شرح ذیل است :
- ✓ عدم نیاز به استفاده از کوپلینگ
  - ✓ بهبود قابلیت تولید امواج عرضی قطبی شده در بازرسی جوشها
  - ✓ با تغییر شکل آهنربا و جهت جریان، انواع امواج لامب، عرضی و طولی را می توان بدست آورد.
- برخی از معایب این روش به شرح ذیل است :
- ✓ نیاز به حفظ فاصله ۱ mm از سطح نمونه
  - ✓ انرژی مافوق صوت تولیدی نسبتاً ضعیف است، بنابراین دقت بالایی در تفسیر سیگنال ها و تنظیم مدارات قدرت مورد نیاز است.
  - ✓ استفاده از فرکانس های بالا امکان پذیر نیست (امواج در مدهای مختلف تولید می شوند).
  - ✓ فقط برای خطوط انتقال گاز مناسب هستند [۱۳-۱۶].



شکل ۵- استفاده از ترانس دیوسرهای صوتی الکترومغناطیسی



## ۷- خلاصه

- ۱) تست نشت شار مغناطیسی رایج ترین تست در بازرسی درون خطی خطوط لوله است و یکی از عیوب مهم این روش مشکل بودن تفسیر داده هاست.
- ۲) تست جریان گردابی یک تست غیر تماسی و با سرعت پایین است.
- ۳) تست آلتراسونیک یک تست رایج است و نتایج دارای دقت بالایی هستند. عیب مهم این روش، نیاز به استفاده از کوپلینگ مایع می باشد.
- ۴) تست نشر صوتی را برای تمامی مواد جامد می توان استفاده کرد، اما هنوز این روش به عنوان یک روش رایج در بازرسی درون خطی خطوط لوله مطرح نیست.
- ۵) استفاده از ترانس دیوسرهای صوتی، یک روش نوین تست آلتراسونیک است که نیاز به استفاده از کوپلینگ مایع ندارد.

## مراجع

- [1] Robert Bickerstaff, Mark Vaughn, Gerald Stoker, Michael Hassard, and Mark Garrett, Review of Sensor Technologies for In-Line Inspection of Natural Gas Pipelines, Sandia National Laboratories, 2008
- [2] Venugopal K. Varma, State-of-the-Art Natural Gas Pipe Inspection, Oak Ridge National Laboratory, 2004
- [3] Xiaoliang Zhao, Venugopal K. Varma, Gang Mei, Bulent Ayhan and Chiman Kwan, In-Line Nondestructive Inspection of Mechanical Dents on Pipelines with Guided Shear Horizontal Wave Electromagnetic Acoustic Transducers, Oak Ridge National Laboratory, Nuclear Science & Technology Division, Oak Ridge, 2006
- [4] Albert Teitsma, Technology Assessment for Delivery Reliability for Natural Gas - Inspection Technologies: RFEC, US Department of Energy National Energy Technology Laboratory, 2004
- [5] Konrad Reber, Michael Beller, In-Line Inspection of New Pipelines, NDT Systems & Services AG, Stutensee, Germany, 2004
- [6] L. Annala, Non-Destructive Testing of Pipelines, 2005
- [7] D. SLESSAREV, V. SUKHORUKOV, S. BELITSKY, Intron Plus, Moscow, Russia, E. VASIN, N. STEPANOV, Diascan, Lkhovitsy, Russia, Magnetic In-Line Inspection of Pipelines: Some Problems of Defect Detection, Identification And Measurement, 2006
- [8] Remote Field Eddy Current Technology for Inspecting 'Unpiggable' Pipelines, <http://www.gastechnology.org>
- [9] Plamen Alexandrov Ivanov, Remote Field Eddy Current Probes for the Detection of Stress Corrosion Cracks in the Transmission Pipelines, 2002
- [10] A. Barbian, M. Beller, K. Reber, N. Uzelac, H. Willems, Ultrasonic In-Line Inspection: High Resolution Crack Detection for Pipelines Using A New Generation of Tools, NDT Systems & Services AG; Stutensee, Germany, NDT Systems & Services AG, Toronto, Canada, 2004

- [11] By K. Reber, M. Beller, Ultrasonic In-Line Inspection Tools to Inspect Older Pipelines for Cracks in Girth And Long-Seam Welds, NDT Systems & Services AG, Stutensee, Germany, 2003
- [12] Acoustic Emission Testing, the Pressure Pipe Inspection Company, 2008  
Quanta Services Company, Mearsgroup, Inc., In-Line Inspection (Pigging) and Remediation Services, 2005
- [13] George A. Alers, EMAT Consulting San Luis Obispo, CA, September 2, 2004
- [14] Thomas Beuker, Ron Alers, Bryce Brown, George Alers, SCC Detection Improvement Using High Resolution EMAT Technology, 16th INTERNATIONAL Pipeline Pigging, Integrity Assessment & Repair, the Westin Galleria Hotel, Houston, Tx february 5-6, 2004
- [15] Jeff Aron, Jeff Jia, Bruce Vance, Wen Chang, Raymond Pohler, Jon Gore, Stuart Eaton, Adrian Bowles, Tim Jarman, Development of An EMAT In-Line Inspection System for Detection, Discrimination, and Grading of Stress Corrosion Cracking in Pipelines, February 2005
- [16] Thomas Beuker, Claus Doescher, Acceptance of EMAT Based In-Line Inspection Technology for the Assessment of Stress Corrosion Cracking and other Forms of Cracking in Pipelines, ROSEN Technology and Research Center, Corrosion 2009