聚乙烯管材超声波探伤系统的开发与评价

DEVELOPMENT AND

ASSESSMENT OF ULTRASONIC INSPECTION SYSTEM FOR POLYETHYLENE PIPES

Malcolm Spicer

TWI Ltd

Granta Park, Great Abington, Cambridge

CB21 6AL, UK

Tel: +44 1223 899000

Email: malcolm.spicer@twi.co.uk

Mike Troughton

Fredrik Hagglund

TWI Ltd

TWI Ltd

Granta Park, Great Abington, Cambridge

Granta Park, Great Abington, Cambridge

CB21 6AL, UK

CB21 6AL, UK

Tel: +44 1223 899000

Tel: +44 1223 899000

Email: mike.troughton@twi.co.uk

Email: fredrik.hagglund@twi.co.uk

摘要

机械工程师协会(ASME)正在开发一个在核电厂埋地管道系统中使用的聚乙烯(PE)的规范案例(N-755)。然而,由于一些担忧,美国核管理委员会(NRC)尚未批准该法典案例,其中之一就是缺少经过验证的无损检测(NDE)技术来检查 PE 管道中的焊接接头。本文介绍了一种超声波相控阵系统的发展和检查直径在 125 和 1000 毫米之间的聚乙烯管焊接接头的程序。该系统包括专为检查聚乙烯管接头而设计的硬件和软件。该系统已由多个组织进行评估,并将介绍了这些试验的结果。随着检测系统的发展,已经开展了一个主要的工作程序来制定 PE 管焊缝缺陷的验收标准。研究的缺陷类型包括颗粒污染,平面缺陷和冷焊。临界缺陷尺寸和污染水平是根据聚乙烯管道焊接接头的长期和短期测试来确定的。

介绍

聚乙烯(PE)管道在输送流体的领域相较铸铁管道、钢铁管道、铜管道和混凝土管道有着显著的优势。因为聚乙烯管道耐腐蚀的特点,所以它的使用寿命更长,更换频率更低。聚乙烯材料重量轻,灵活性好,安装成本更低,并且它采用全焊接系统技术,泄漏率明显降低。然而

由于缺少有对焊接接头性能可靠的无损检测(NDT)方法,它们在安全的关键的环境中(如核电站的冷却水进水管道系统)的使用仍然受到限制。已经进行了几项研究来开发热熔对接 1 (BF) [2-6] 和电熔(EF) [7-9] 接头的无损检测方法。但是,这些仅限于有限范围的管道尺寸和/或不包括验收标准。本文介绍了 2012 年首次提交给 PVP 大会的超声波检测系统的发展进展[10]。

热熔对接焊工艺

热熔对接(也称为热板,加热工具,镜面或台板焊接(图 1))用于焊接尺寸通常在 50 到 2000mm 之间的聚乙烯管。



图 1 聚乙烯管材热熔对接焊

该技术使用加热的金属板(称为热板)来加热和熔化聚乙烯管的端部。一旦端部被充分熔 化,热板被移除,并且管在压力下被聚合在一起以形成焊缝。

电熔焊接工艺

在电熔焊接中,管端被推入到配件的任一端(图 2),其中包含内部的加热线圈。电流通过线圈,加热并熔化配件内部和管道外部,产生焊接(图 3)。





图 2 电极接头

图 3 通过电熔接头显示加热线的位置

TESTPEP 项目

TestPEP 欧洲资助项目涉及七个欧洲国家的 17 个组织。这是一个为期三年的项目,于 2010 年 2 月开始,总价值 350 万欧元。其目的是设计,制造和验证一个相控阵超声波系统,可用于检查聚乙烯管道中的管道到管道和管道到管件(弯头,减速器,三通)热熔对接和电熔接头。这个概念是有一个黑盒仪器,直接连接到扫描仪,用简单的以太网连接来下载记录的数据。与此同时,通过对含有已知缺陷的接头进行长期机械测试,并与没有缺陷的焊接结果进行比较,以此来确定缺陷尺寸和数量的重要性。

该项目根据以下规格分为几个技术工作包:

材料: PE80 和 PE100

管道尺寸: 180mm SDR 17

225mm SDR 11

355mm SDR11

450mm SDR 17

710mm SDR 17

缺陷类型:细颗粒物污染(粉尘)

粗颗粒污染物(沙粒,砂粒)

平面瑕疵(指纹,油脂,雨滴)

冷焊缝

管道在电熔接头中渗透不足

管道接头周围的最小工作距离: 200 毫米

焊接接头的制造

已经在规范中定义的聚乙烯材料,接头类型和管道尺寸中制造了许多包含在说明书中定义的缺陷类型的模拟的焊接接头。

既然无损检测评估和验收标准都需要知道每个缺陷的确切大小和/或数量,所以大部分缺陷都是对现场可能遇到的实际缺陷的理想模拟:

- •微粉化滑石粉(粒度<45 µ m)-模拟细微颗粒污染。
- •分级硅砂(粒径 150 300 µ m) 模拟粗颗粒污染。
- 铝盘(25 微米厚, 1-50 毫米直径)-模拟平面瑕疵。

以前的工作表明,对于超声无损检测,使用铝制圆盘能很好地模拟真实的平面缺陷[2]。 在之前的实验中,已经开发了将上述缺陷以可重现的方式插入电熔和热熔对接接头的程序[10]。 例如,为了引入均匀可重复的粗颗粒污染物水平,已经开发了流化沙床以在焊接之前在管端上沉积预定级别的硅砂(图 4 和 5)。

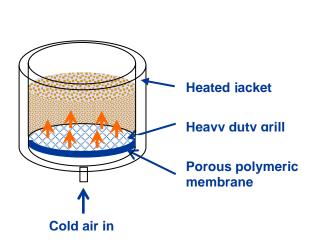


图 4 流化沙床的图解表示



图 5 加热流化沙床

无损检测技术的发展

超声波相控阵无损检测技术已经被开发用于检测规范中定义的聚乙烯管材料和管道尺寸的 缺陷,包括设计和制造定制的超声波相控阵探头。已经确定了所选择的聚乙烯材料的材料性 能[10,11]以及克服这些材料的低声速和高度衰减性质的方法,然后将这些材料并入到超声探头 规范中。

除了这项工作之外,还有正在开发缺陷识别和自动缺陷判定软件,以允许检查系统提供合格或者不合格指示。对于检查电熔接头来说,这种方法的挑战要获得足够好的分辨率,以便能够检查加热丝以外的熔合区。由于在聚乙烯材料中超声波的衰减随频率的增加而迅速增加[10],所以最合适的解决方案是找到折中的频率。频率必须足够低以使声音传播所需的距离,但是足够高以达到所需的分辨率。这需要对相控阵探头进行仔细的参数选择。该方法是使用

一个正常的线性扫描聚焦在融合区(图 6),使用一个新型的开放式水楔块,用于有效地保持水楔(图 7)。

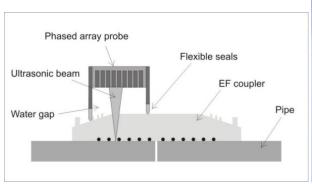




图 6 电熔接头检测技术示意图

图 7 用于电熔检查的零度水楔

利用该项目已经开发的技术[10],对一系列电熔管接头进行了检测,取得了很好的结果。图 8,9 和 10显示了 180毫米聚乙烯管中焊接的电熔接头的一系列图像。图 8显示了一个没有明显缺陷的良好关节。图 9示出了具有 8mm 铝制圆盘的接头,图 10示出了具有 2mm 铝制圆盘的接头,这证明低于 2mm 直径的熔合不易被检测到。图 8 中也可以看到 HAZ 上边缘的迹象,虽然在图 9 和图 10 中并不明显。这个特征可以用来检测冷焊缝[8,10]。除此之外,可以清楚地看到来自内管表面的信号。图 11 和图 12 分别显示了 450mm 电熔焊接管中的良好的焊接和冷焊接。图中显示了测量的 HAZ 指示距离的差异。在图 12 中还可以看到,在界面处有相关的缺乏融合的区域。表 1 中显示了电熔管接头尺寸和迄今检查的缺陷类型的总结

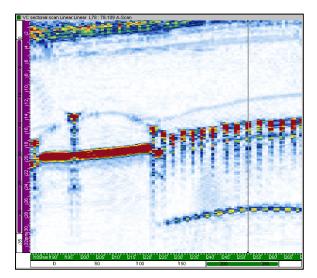


图 8 毫米电熔配件的相控阵超声波图像, 无瑕疵

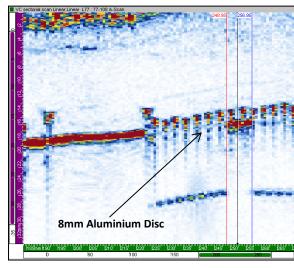
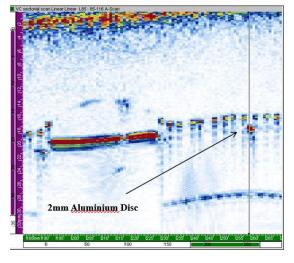
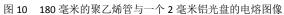


图 9 带有 8 毫米铝合金圆盘的 180 毫米聚乙烯管中的电熔接头图像





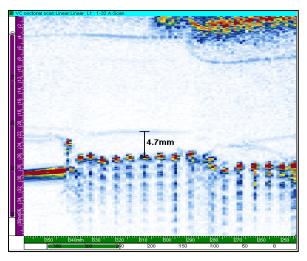
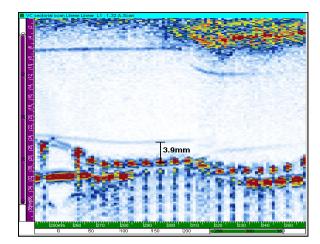


图 11 450mm PE 管中电熔接头的图像,具有良好的融合性



夕 12	450 毫米聚乙烯管冷连接的图像
121 17	40U = 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

	Planar	Fine part.	Coarse part.	Cold weld	Under pen.
180	Х			х	Х
225	х			х	х
355	х			х	х
450	х			х	х
710					

表 1 电熔管接头尺寸的总结/检查的缺陷类型

检查热熔对接接头需要使用成角度的超声波,并使用四种不同技术的组合来获得焊接区域的完全覆盖: 自串列,扇区脉冲回波,蠕变波和 TOFD (图 13)。

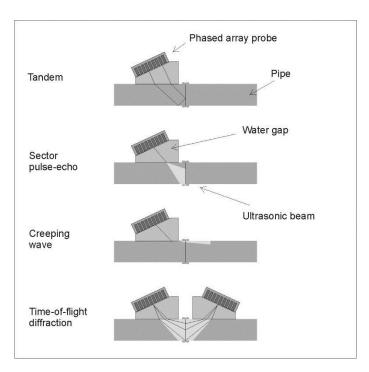


图 13 用于检查高炉焊接的检查技术

使用项目开发的四种技术中的三种技术[10],如图 13 所示,对一系列高炉管接头进行了检查,取得了很好的结果。尚未被采用的技术是 TOFD 技术。

自串联技术使用相控阵元件的一半进行传输,另一半进行接收。该技术适用于检测平面缺陷,但覆 盖范围仅限于靠近内表面的区域。

扇形脉冲回波技术使用阵列中的所有元素来创建一个光圈,将光束扫过一定范围的角度。该技术概述了除了接近外表面的几毫米外焊缝并且覆盖了大部分熔接区域,。

蠕变波技术只覆盖接近焊缝外表面的区域,这是前两种技术未涉及的焊缝的一部分。蠕变波技术的 配置使用高角度扇形扫描,产生在检测表面下方立即传播的压缩波,以检测表面破坏和近表面缺陷。

TOFD 技术覆盖整个熔合区域,并使用向前衍射来检测垂直缺陷。在这个项目中使用的配置是使用两个扇区扫描的俯仰捕捉技术,其中两个探针使用大孔径发射和接收覆盖整个焊接的光束。

使用水楔块。 楔块的角度被优化,以最小化探针元件的电子转向(图 14)。 该图显示了 TOFD 配置中的两个热熔对接探针。 对于其他三种技术,只需要一个探头。

图 15, 16 和 17 显示了 355mm PE 管道中焊接的热熔对接接头的一系列图像。 图 15 显示了一个没有明显缺陷的良好关节。 图 16 显示了具有 8mm 铝盘的接头,而图 17 显示了具有 4mm 铝盘的接头,证明至少 4mm 直径的熔合不易被检测到。 扇形扫描也显示一些噪音很高的不需要的地方。 这些是来自水楔块的内部信号,进一步的工作正在消除这些信号。 图 18 显示了在包含铝盘的 355mm 管中的扇区脉冲回波扫描和自串列扫描的合并 B 扫描。

表 2 列出了热熔对接管接头的尺寸和迄今检查的缺陷类型的总结



图 14 用于检查高炉炉膛的堰板

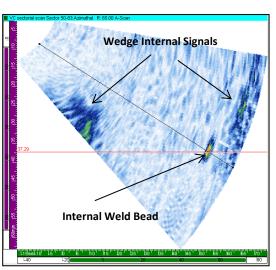
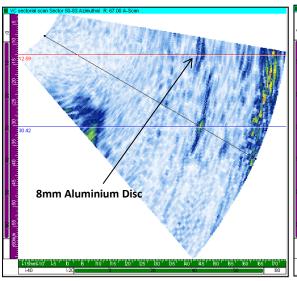


图 15 在 355MM PE 管中的 BF 接头的图像,没有缺陷



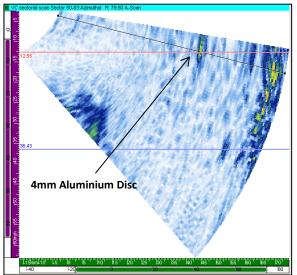
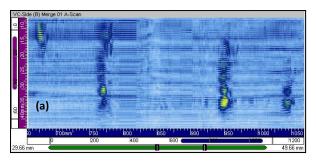


图 16 带有 8mm 铝合金圆盘的 355mm PE 管的 BF 接头的图像 图 17 在一个 4mm 铝合金圆盘的 355mm PE 管中的 BF 接头的图像

	Planar	Fine part.	Coarse part.	Cold weld
180		X		
225		X		



355	X	X	
450			
710	X	X	

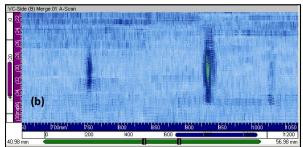


图 18 合并 B 扫描使用 (a) 扇形脉冲回波 (b) 自调节

表 2 高炉管接头的尺寸总结/检查的缺陷类型

电熔焊缝检测的自动缺陷识别软件(ADR)的开发取得了一些进展。 算法中有三个主要步骤:

- •检测与加热丝相对应的区域(图 19)
- •确定导线(图 20)
- •确定缺陷图(图 21)

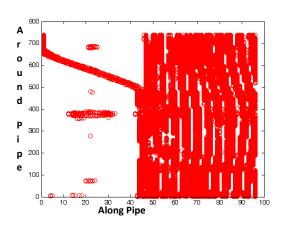


图 19 检测与加热线相关的区域

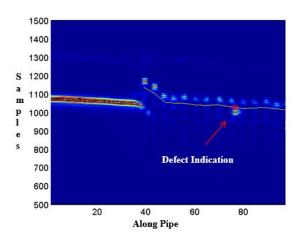


图 20 确定线路

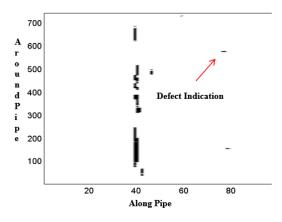


图 21 缺陷图的确定

验收标准的发展

项目检查的焊缝采用短期和长期试验进行机械测试。针对每种不同的缺陷类型将这些测试的结果进行分析,并与没有故意缺陷的焊接测试结果进行比较。实际的颗粒污染水平将使用焊接界面上的表面分析技术来确定。为了计算每个管道材料,管道尺寸和接头类型,降低焊缝完整性的缺陷临界尺寸/水平,将产生缺陷尺寸/颗粒污染水平与机械性能的关系曲线[10]。

将用于评估焊接接头完整性的机械测试包括:

热熔对接焊缝: 符合 EN 12814-7 的腰部拉伸试验[12]

试样蠕变断裂试验符合 EN 12814-3 标准[13]

整管拉伸蠕变断裂试验[14]

电熔焊缝: 根据 EN 12814-4 进行试验测试[15]

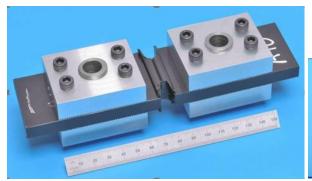
破碎试验依据 ISO 13955 [16]

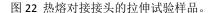
插座接头的试样蠕变断裂试验, 按照 EN 12814-3 的附录 C.

根据 BS EN 12201-3 [17]规定的 80°C 静水压试验

整管拉伸蠕变破裂试验

图 22 显示了来自热熔对接接头的拉伸试样,图 23 显示了来自 225mm 聚乙烯管的拉伸试样的断裂表面;没有缺陷的管接头是完全延性的失效(图 23a),而具有重质滑石污染的管接头是完全脆性的失效(图 23b)。图 24 显示了来自 225mm 管的电熔接头的剥离试验试样的断裂表面。图 24a 显示了不含缺陷的接头的断裂表面,并且显示了通过加热丝平面的延性断裂。图 24b 示出了来自包含冷焊接的接头的断裂表面,并且显示了通过焊接界面的脆性断裂。





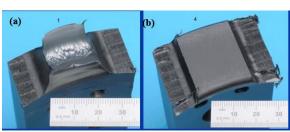
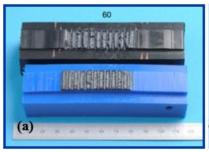


图 23 225 毫米塑料管拉伸试验样品的断裂表面 (A) 全韧性失效,和(B) 完全脆性失效。



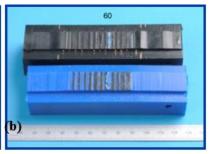


图 24(a)通过加热丝的平面的韧性断裂,和(b)通过焊接界面的脆性断裂,从 225mm 管中的电熔接头剥皮试验样品的 24 个断裂面。

无损检测仪器的研制

设计了一种能够在恶劣环境下工作的新型紧凑型相控阵探伤仪(图 25)。原型超声波相控阵无损 检测数据采集和分析系统也在这个项目中开发。超声波束控制电子设备的广泛设计和仪器内的数据处 理正在进行中。并且将在 ADR 算法的工具内实施。



图 25 TESTPEP NDE 仪器的概念图片

该仪器如图 25 所示,具有以下特点:

集成 UT 硬件和 PC 板

远程访问软件应用程序(以太网或 WiFi)

64 x 64 PA 通道

4个传统频道

完全浸没(<0.5m)的 IP67 防护箱。

用于数据存储的 SSD 内存(100GB)。

两个可拆卸电池可连续工作 4 小时。

重量: 5公斤。

尺寸: 320 x 240 x 100 毫米。

扫描系统的发展

一个能够在从 90mm 到 1000mm 的管道尺寸(图 26)的热熔对接和电熔接头周围 360°旋转的扫描系统已经被制造。它包括一个主板,通过几个连杆和一个调节机构将其固定在管道周围。该板包含一个编码器,也支持热熔对接和电熔接头的探头支架。



图 26 带热熔对接探针座的柔性链式扫描仪

完整原型系统的组装和评估

一个完整的无损检测系统已经在许多试验中进行了组装和评估,其中包括仪器,探头和扫描系统,以评估系统的灵敏度,可重复性和易用性。应为对一些从管道上切下的电熔接头进行了一次试验,所以扫描系统不能使用。但是,通过手动操作探头(图 27),成功检查了接头,并在图 28 中显示了一个典型的结果,在其中一根导线周围出现了空洞。在另一个试验中,一小部分针对英国的接头发电行业由该系统与行业开发的另一个 PAUT 系统并行进行了检查。在一个试验中,只有一个小的迹象被两个系统检测到(图 29)。该联合正在进一步调查中,以确定适应症的原因。计划在威尔士和英格兰中部地区进行新的实用管道安装的现场试验。



图 27 手操纵探针检查切除试样电熔

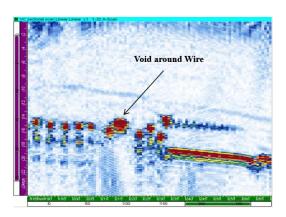


图 28 扫描试验结果

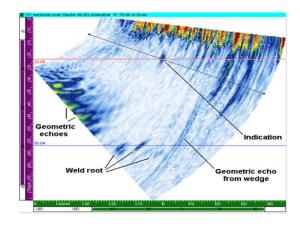


图 29 电力工业管道接头

剩余工作

这个项目剩下的工作总结如下。

- •完成含有人造缺陷的热熔对接和电熔焊缝的制造。
- •完成对含有人造缺陷的焊缝的检查,以确定所调查管道范围的检测范围。
- •完成含有人造缺陷的焊缝的机械测试,以确定关键的缺陷尺寸和污染程度。
- •制造新的无损检测仪器。
- •完成缺陷识别和自动缺陷量化软件的开发。
- •继续评估完整的原型无损检测系统并进行现场试验。

致谢

这些结果的研究得到了 REA-Research Executive Agency [PF7 / 2007-2013]根据第 243791-2 号资助协议管理的欧盟第七框架计划的资助。

该项目联盟由欧洲焊接,连接与切割联合会(EWF),无障碍协会(AEND),表面安装及相关技术(SMART Group),管道工业协会,意大利协会(AIPnD)Vermon,M2M,Plasflow,Isotest Engineering,E.ON Ruhrgas,英国能源,Hessel Ingenieurtechnik,考纳斯科技大学,Consorzio Catania Ricerche 和 TWI。本文档中的信息按原样提供,不保证或保证信息适合于任何特定用途。其用户使用这些信息的唯一风险和责任。

引用文献

- 1. ASME, 2008, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case N-755, American Society of Mechanical Engineers, New York.
- 2. Munns, I.J., and Georgiou, G.A., 1999, "Ultrasonic and radiographic NDT of butt fusion welded polyethylene pipes", Insight, 41(5), British Institute of Non-Destructive Testing, Northampton, UK.
- 3. Troughton, M.J., 2001, "Welding with integrated non-destructive examination of polyethylene pipes", Plastics Pipes XI Conference, Institute of Materials, London.
- 4. Messer, B., Yarmuch, M., and den Boer, P., 2003, "Novel high-resolution defect detection for thermoplastic buttwelds", Pipeline and Gas Journal, March, Oildom Publishing Company of Texas, Houston.
- 5. Crawford, S.L., Doctor, S.R., Cinson, A.D., Cumblidge, S.E., and Anderson, M.T., 2009, "Preliminary assessment of NDE methods on inspection of HDPE butt fusion piping joints for lack of fusion", PVP2009-77958, ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference, ASME, New York.
- 6. Frederick, C., Porter, A., and Zimmerman, D., 2009, "High-density polyethylene piping butt-fusion joint examination using ultrasonic phased array", PVP2009-77783, ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference, ASME, New York.
- 7. Shin, H.J., Jang, Y.H., Kwon, J.R., and Lee, E.J., 2004, "Nondestructive testing of fusion joints of polyethylene piping by real time ultrasonic imaging", Plastics Pipes XII Conference, Plastics Pipes Conferences Association.
- 8. Bird, C., Caravaca, D., and Raude, A., 2006, "The inspection of cold welds in electrofusion joints", Plastics Pipes XIII Conference, Plastics Pipes Conferences Association.
- 9. Caravaca, D.S., Bird, C., and Kleiner, D., 2007, "Ultrasonic phased array inspection of electrofusion joints in polyethylene pipes", Insight, 49(2), British Institute of Non-Destructive Testing, Northampton, UK.
- 10. Troughton, M., Spicer, M., and Hagglund, F., 2012, "Development of Ultrasonic Phased Array Inspection of Polyethylene Pipe Joints", PVP2012-78860, ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Conference, ASME, Toronto.
- 11. Mazeika, L., Sliteris, R., and Vladisauskas, A., 2010, "Measurement of velocity and attenuation for ultrasonic longitudinal waves in the polyethylene samples", Ultragarsas, 65(4), Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.
- 12. BS EN 12814-7, 2002, "Testing of welded joints of thermoplastics semi-finished products Part 7: Tensile test with a waisted test specimen", British Standards Institution, London, UK.
- 13. BS EN 12814-3, 2000, "Testing of welded joints of thermoplastic semi-finished products Part 3: Tensile creep test", British Standards Institution, London, UK.
- 14. Brown, C.I., and Troughton, M.J., 2004, "Qualifying longterm performance of butt fusion welds in PE pipes from short-term tests", Plastics Pipes XII Conference, Plastics Pipes Conferences Association.
- 15. BS EN 12814-4, 2001, "Testing of welded joints of thermoplastic semi-finished products Part 4: Peel test", British Standards Institution, London, UK.
- 16. ISO 13955, 1997, "Plastics pipe and fittings Crushing decohesion test for polyethylene (PE) electrofusion assemblies, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- 17. BS EN 12201-3, 2003, "Plastics piping systems for water supply Polyethylene (PE) Part 3: Fittings", British Standards Institution, London, UK.