ฉบับภาษาไทย

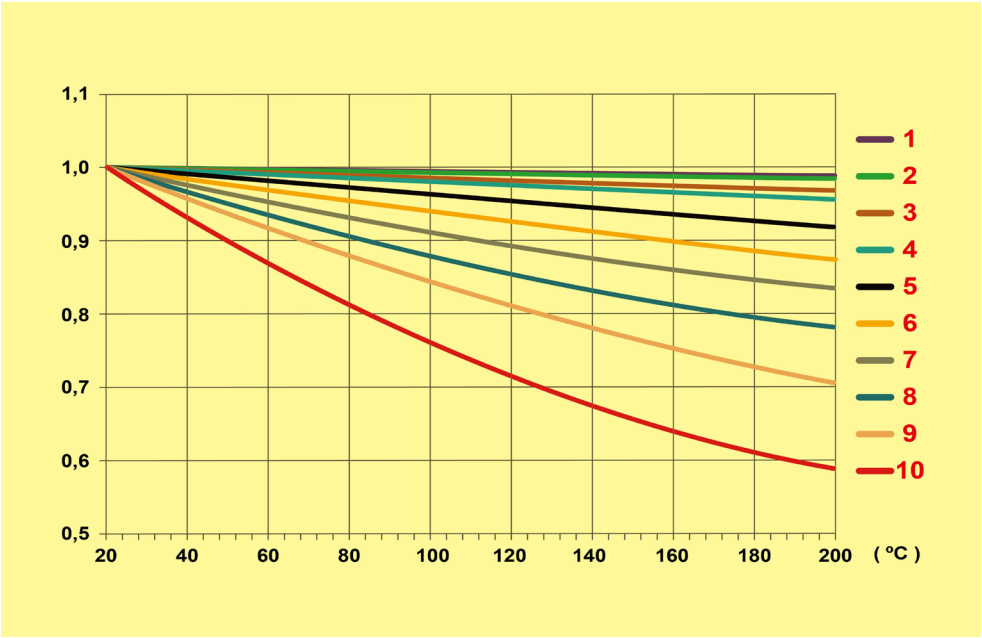
ULTIMHEAT® MUSEUM

Jacques Jumeau

เทคโนโลยีของส่วนประกอบที่ใช้ในการทำความร้อน

บทที 47

การนำเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนมาใช้งานครั้งแรกเชิงเทคนิค



ลิขสิทธิ์: Jacques Jumeau
อนุญาตให้คัดลอกได้หากคุณอ้างอิงที่มา: พิพิธภัณฑ์ Ultimheat

การปรากฏของผู้ผลิตจำนวนมากในตลาดและการเพิ่มขึ้นของยอดขายออนไลน์โดยไม่มีข้อกำหนดทางเทคนิคใด ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากได้ปรากฏขึ้นพร้อมการแสดงผลที่เรียบง่ายและไม่มีการรับรองทางเทคนิคใด ๆ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักจะถูกสั่งซื้อเพียงแค่ตามภาพและราคาที่แสดงไว้เท่านั้น

ด้วยบทนำทางเทคนิคนี้เราต้องการแสดงให้เห็นว่าการค้นหาการปรับปรุงและเทคโนโลยีที่เหนือกว่าอย่างต่อเนื่องของเราเป็นวิธีเดียวที่น่าเชื่อถือเพื่อให้ลูกค้ามืออาชีพของเรามีโซลูชั่นที่เชื่อถือได้และยั่งยืนในขณะที่คำนึงถึงอันตรายทางเทคนิคต่าง ๆ ของอุปกรณ์ทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น การออกแบบอุปกรณ์ของเราไม่มีสิ่งใดที่ถูกปล่อยให้เป็นไปตามความเสี่ยงหรือการประมาณ การทดสอบทั้งหมดจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการของ Ultimheat นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น Ultimheat เป็นบริษัทที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO 9000-2015 และ ISO 14000-2015 (รุ่นล่าสุดที่มีอยู่) นอกจากนี้ยังเป็น บริษัท เทคโนโลยีชั้นสูงที่ได้รับการรับรองจากรัฐบาลอีกด้วย

บทสรุปของบทนำด้านเทคนิค

1- การเปรียบเทียบเทคโนโลยีเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่น..... 7

2- การอุ่นถัง..... 7

2- 1. ขนาดของถังมาตรฐาน..... 9

ขนาดปกติของถังโลหะ..... 9

2- 2. การอุ่นถังด้วยเข็มขัดแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น..... 10

เวลาอุ่นถัง.....10

ความร้อนสูงเกินไปของเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นที่ติดตั้งบนถังเปล่า.....10

ตัวอย่างที่ใช้งานได้จริงของถังอุ่นกับเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....11

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนสำหรับของเหลวที่แตกต่างกันซึ่งปัจจุบันได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อน แบบเข็มขัดซิลิโคน.....14

3- การทำความร้อนท่อ.....15

3- 1. อุณหภูมิพื้นผิวท่อ.....15

ผลการทดสอบท่อเหล็กสแตนเลส.....16

ผลการทดสอบท่อเหล็กสแตนเลสที่ถูกวัลคาไนซ์.....17

ผลการทดสอบท่อ U-PVC..... 18

4- การทำความร้อนบอร์ดด้วยเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....19

4- 1. อุณหภูมิพื้นผิวของบอร์ดตามกำลังของพื้นผิว.....19

การวัดบนเครื่องความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นที่แขวนอยู่ในอากาศ...19

การวัดบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นติดตั้งบนผนังโลหะที่ไม่ได้ถูกจุ่ม.....20

5- ตัวแปรเชิงโครงสร้างของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....21

5- 1. ตัวแปรทั่วไป.....21

วิธีการที่ทันสมัยบางวิธีในการขึ้นรูปลวดสำหรับเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....21

5- 2. การใช้ลวดต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก ศูนย์ หรือลบ และการแปรผันของพลังงาน ตามอุณหภูมิ.....22

5- 3. การออกแบบแผ่นซิลิโคนที่ถูกเพิ่มความแข็งแรง.....23

5- 4. การเคลือบผิวเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....24

5- 5. ความแข็งแรงเชิงกลของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....24

ความทนต่อการฉีกขาด.....24

การเคลื่อนที่..... 25

ความทนต่อการฉีกขาดของตะขอยึด.....26

ความต้านทานต่อการแยกของชั้นที่ถูกวัลคาไนซ์.....27

ความต้านทานการงอ.....27

ความต้านทานแรงฉีกขาดของตัวป้องกันซิลิโคนของเทอร์โมสแตท ตัวจำกัด เซนเซอร์ อุณหภูมิ.....28

การเปรียบเทียบเทคนิคการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ และกาวที่ใช้สำหรับ การยึดติดของฝาซิลิโคนบนพื้นผิวที่ให้ความร้อนของซิลิโคนที่ยืดหยุ่น.....28

5- 6. วิธีการเชื่อมต่อสำหรับลวด สายไฟ เซนเซอร์อุณหภูมิและเทอร์โมสแตท.....29

การเชื่อมต่อลวดกับเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP54).....30

การเชื่อมต่อสายไฟและตัวจำกัดอุณหภูมิบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP65) 31

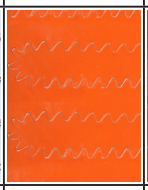
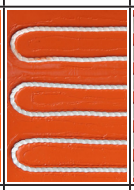
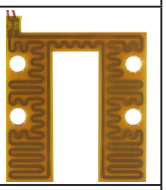
การเชื่อมต่อสายไฟและเซนเซอร์อุณหภูมิบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP65).....32

การเชื่อมต่อสายไฟและเทอร์โมสแตทโลหะคู่แบบปรับได้บนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP54).....32

การเชื่อมต่อสายไฟและเทอร์โมสแตทแบบท่อแคปิลลารี่แบบปรับได้บนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน ที่ยืดหยุ่น (IP54)..... 32

5- 7. ตัวแปรของฉนวนไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ ยืดหยุ่น.....33
ความต้านทานของฉนวนที่อุณหภูมิแวดล้อม..... 33
กำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิแวดล้อม.....33
กระแสไฟรั่วที่อุณหภูมิขณะทำงาน.....34
5- 8. การปฏิบัติตาม Rohs และ Reach.....34

1: การเปรียบเทียบเทคโนโลยีหลักของเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่น *

	ผ้าทำความร้อน	เครื่องทำความร้อนแบบยางซิลิโคน			เครื่องทำความร้อนแบบฟอยล์ฉนวนบาง	
ประเภท	**1 อุปกรณ์ทำความร้อนพันด้วยลวดที่ถูกฝังตัวอยู่ในผ้า**	**2 ลวดทำความร้อนแบบซิกแซก**	**3 อุปกรณ์ทำความร้อนพันด้วยลวดที่ถูกวัลคาไนซ์ในยาง**	**4 ฟอยล์โลหะแกะสลักที่ถูกวัลคาไนซ์ในยาง**	**5 เครื่องทำความร้อนฟิล์มหนาแบบไหมพิมพ์สกรีน**	**6 ฟอยล์แกะสลักที่ถูกพันบนฟิล์มฉนวน**
ภาพ						
ระยะอุณหภูมิ	-20+120°C ค่าปกติ เนื่องจากอุณหภูมิขึ้นอยู่กับผ้าที่ใช้และฉนวนของลวดทำความร้อน (ตั้งแต่ -20+120°C สำหรับ PA66 ถึง -60+350°C สำหรับใยแก้วสหรืออะราไมด์)	-60°C ถึง 230°C	-60°C ถึง 230°C	-60°C ถึง 230°C	-20+80°C ความต้านทานต่ออุณหภูมิขึ้นอยู่กับหมึกที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าและตัวต้านทานเป็นหลัก ฟอยล์ฉนวนอาจเป็น PVC หรือ PET หรือแม้แต่โพลีไอไมด์ก็ได้ กำลังไฟฟ้าของพื้นผิวจำกัดอยู่ที่ 0.2 วัตต์/ซม.^{2}	-60 ถึง 230°c ค่าปกติ เนื่องจากอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับวัสดุฟอยล์ฉนวน กาวที่ใช้ในการยึดฟอยล์ฟิล์มฉนวนอาจเป็น PET (สูงสุด 120°C เนื่องจากวัสดุฟิล์ม) Kapton (สูงสุด 230°C เนื่องจาก PSA)
ความยืดหยุ่น	ทนต่อการดัดและการงอซ้ำ ๆ ได้ดี	ทนต่อการดัดและการงอซ้ำ ๆ จำกัด	ทนต่อการงอซ้ำที่ดีที่สุด	จำกัดเฉพาะการใช้งานแบบไม่เคลื่อนไหวเนื่องจากความทนต่อการโค้งงอของฟอยล์โลหะไม่ดี	ความทนของหมึกต่อการงอต่ำมาก	จำกัดเฉพาะการใช้งานแบบไม่เคลื่อนไหวเนื่องจากความทนต่อการโค้งงอของฟอยล์โลหะไม่ดี
ใช้ใน	เครื่องทำความร้อนแบบแจ็คเก็ตสำหรับอุตสาหกรรม เครื่องทำความร้อนแบบผ้าห่มในบ้านและอุตสาหกรรมและแผ่นทำความร้อนเสื้อผ้าทำความร้อน	เครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมการใช้งานในปริมาณต่ำ	เครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมการใช้งานในปริมาณต่ำ	การใช้งานเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ในปริมาณมาก ส่วนใหญ่ต้องการความต้านทานต่ออุณหภูมิสูงและวัตต์/ซม.^{2} สูง	เครื่องทำความร้อนที่มีต้นทุนต่ำและอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในรถยนต์สำหรับทำความร้อนที่นั่งหรือกระจกเพื่อป้องกันน้ำแข็งไม่ให้ก่อตัวขึ้นที่กระจกมองข้างของรถยนต์ รถโดยสารและรถบรรทุก	การใช้งานที่ต้องการโซลูชันที่มีน้ำหนักเบาหรือเวลาทำความร้อนที่รวดเร็วช่วงอุณหภูมิที่กว้างเมื่อใช้ Kapton

การนำเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนมาใช้งานครั้งแรกเชิงเทคนิค

	ผ้าทำความร้อน	เครื่องทำความร้อนแบบยางซิลิโคน			เครื่องทำความร้อนแบบฟอยล์ฉนวนบาง	
ประเภท	**1** **อุปกรณ์ทำความร้อนฟันด้วยลวดที่ถูกฝังตัวอยู่ในผ้า**	**2** **ลวดทำความร้อนแบบซิกแซก**	**3** **อุปกรณ์ทำความร้อนฟันด้วยลวดที่ถูกวัลคาไนซ์ในยาง**	**4** **ฟอยล์โลหะแกะสลักที่ถูกวัลคาไนซ์ในยาง**	**5** **เครื่องทำความร้อนฟิล์มหนาแบบไหมพิมพ์สกรีน**	**6** **ฟอยล์แกะสลักที่ถูกพันบนฟิล์มฉนวน**
เทคโนโลยี	เทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดย้อนหลังไปถึงปลายศตวรรษที่ 19 ตัวนำความต้านทานถูกขดรอบแกนใยแก้วหรืออะรามิด (มันเป็นแร่ใยหินจนถึง 50 ปีที่แล้ว) จากนั้นเครื่องทำความร้อนแบบแบนสามารถทำได้โดยใช้โซลูชันทางเทคนิค 2 แบบ: 1/ - ผ้าทำความร้อนซึ่งเส้นยืนทำจากใยแก้ อะรามิดฝ้าย โพลีไอไมด์ และเส้นพุ่งทำจากลวดทำความร้อนที่ถูกขดนี้ 2/ -การเย็บลวดบนผ้า ด้วยโซลูชันนี้มันเป็นไปได้ที่จะใช้ลวดกับฉนวนหลักในซิลิโคนหรือ FEP จากนั้นฉนวนหลักสามารถรับการถักเปียโลหะได้สำหรับการต่อสายดิน นี่เป็นวิธีเดียวที่จะผลิตเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่นด้วยการถักสายกราวด์ที่มีการร้องขอในการใช้งานด้านอุตสาหกรรมบางประเภท	ตัวนำความต้านทานจะอยู่ในรูปซิกแซกแบบแบนและประกอบเป็นใย เทคโนโลยีนี้ผลิตเครื่องทำความร้อนโดยไม่เพิ่มความหนาคล้ายกับรุ่นแกะสลักโซลูชันที่ถูกที่สุดสำหรับปริมาณน้อย (เทคโนโลยีที่จดสิทธิบัตรโดย Ultimheat)	ตัวนำความต้านทานถูกขดรอบแกนใยแก้วหรือโพลีไอไมด์ จากนั้นทำใยลวดขดโดยใช้มือกดบนซิลิโคนที่ไม่ได้ถูกวัลคาไนซ์ จากนั้นใยทำความร้อนจะถูกวัลคาไนซ์ระหว่างแผ่นยางซิลิโคนเสริมใยแก้ว 2 แผ่น ในแบบดั้งเดิมที่เป็นกระบวนการประกอบที่ใช้เวลานานซึ่งเหมาะสำหรับปริมาณน้อยเท่านั้น ในเทคโนโลยีที่จดสิทธิบัตรของ Ultimheat ตาข่ายผ้าใยแก้วและลวดความร้อนได้รับการออกแบบโดยคอมพิวเตอร์และลวดความร้อนจะถูกฝังโดยอัตโนมัติในตาข่ายใยแก้วก่อนที่จะถูกวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้สามารถการผลิตอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์และการใช้งานปริมาณมาก	ใยนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนทำจากแผ่นโลหะบาง ๆ ที่ถูกสลักด้วยเคมีด้วยเทคโนโลยีที่คล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตวงจรพิมพ์ จากนั้นใยโลหะนี้สามารถถูกวัลคาไนซ์ได้ระหว่างแผ่นยืดหยุ่นและเป็นฉนวน 2 แผ่น แผ่นสามารถทำจากยางหรืออีลาสโตเมอร์ทุกชนิด เนื่องจากเส้นทางที่ใหญ่กว่า ระยะห่างที่เล็กลงระหว่างอุปกรณ์และการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า ความหนาแน่นของพลังงานอาจมากกว่ารุ่นที่พันด้วยลวดแบบดั้งเดิมถึง 2 เท่า เหมาะสำหรับปริมาณขนาดกลางและขนาดใหญ่	เครื่องทำความร้อนแบบฟิล์มหนาถูกสร้างขึ้นบนผ้าไหมที่สกรีนด้วยหมึกนำไฟฟ้าและต้านทาน หมึกเหล่านี้ถูกพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ที่ยืดหยุ่นซึ่งสามารถผลิตได้โดยใช้หมึกที่ทำให้เครื่องทำความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิของตัวเองได้หรือเป็นเครื่องทำความร้อนที่มีความต้านทานคงที่	เครื่องทำความร้อนแบบฟอยล์แกะสลักที่ยืดหยุ่นของ Kapton ทำจากฟอยล์โลหะบางเป็นอุปกรณ์ต้านทาน รูปแบบความต้านทานได้รับการออกแบบใน CAD และถูกโอนไปยังฟอยล์ในกระบวนการคล้ายกับการผลิตวงจรพิมพ์ จากนั้นฟอยล์โลหะจะถูกเคลือบและยึดกับฐานฉนวนด้วยกาว (FEP หรืออะคริลิค) ฟอยล์โลหะ/ฐานจะถูกดำเนินการผ่านกรดเพื่อผลิตอุปกรณ์ทำความร้อนแบบแกะสลักชั้นบนสุดจะถูกเพิ่มเข้ามาแล้วยึดติดและเคลือบด้วยกาวเช่นเดียวกับด้านแรก เครื่องทำความร้อนโพลีไอไมด์ให้ความคงตัวด้านขนาดและความต้านทานแรงดึงสูง นอกจากนี้ยังทนต่อสารเคมีส่วนใหญ่ (Kapton เป็นชื่อแบรนด์จาก Dupont สำหรับโพลีไอไมด์)

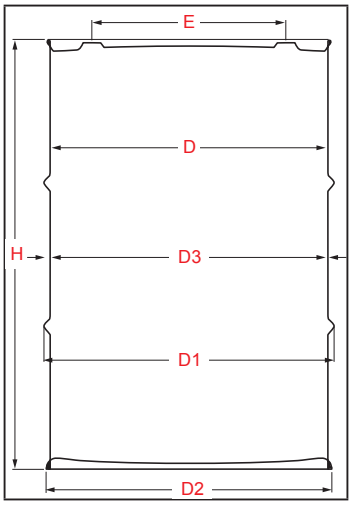
* ประเภท **4 3 2 1** ผลิตโดย Ultimheat

2-การอุ่นถัง

2-1 ขนาดของถังมาตรฐาน

หนึ่งในการใช้งานที่พบมากที่สุดของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นคือการอุ่นถัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบุขนาดทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ
ที่พบบ่อยที่สุดคือถัง 200 ลิตร (รู้จักกันในชื่อถังขนาด 55 แกลลอนในสหรัฐอเมริกาและถังขนาด 44 แกลลอนในสหราชอาณาจักร) เป็นภาชนะทรงกระบอกที่มีความจุ 200 ลิตร (55 แกลลอนสหรัฐหรือ 44 แกลลอนอิมพีเรียล) ความจุที่แน่นอนอาจแตกต่างกันไปตามผู้ผลิต วัตถุประสงค์หรือปัจจัยอื่น ๆ ถังมาตรฐานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 572 มม. (22.5 นิ้ว) และความสูงภายใน 851 มม. (33.5 นิ้ว) ขนาดเหล่านี้ให้ปริมาตรประมาณ 218.7 ลิตร (57.8 แกลลอนสหรัฐ 48.1 แกลลอนอิมพีเรียล) แต่โดยทั่วไปจะถูกบรรจุประมาณ 200 ลิตร
ขนาดภายนอกของถัง 200 ลิตรโดยทั่วไปนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 584 มม. (23 นิ้ว) ที่ขอบด้านบนหรือด้านล่าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 597 มม. (23.5 นิ้ว) ที่สัน (สันรอบถัง) และสูง 876 มม. (34.5 นิ้ว)
ขนาดภายนอกนั้นเหมือนกันแต่อาจแตกต่างกันไม่กี่มิลลิเมตรในรุ่นสหรัฐและรุ่น ISO เส้นผ่าศูนย์กลางไส้จุกบนฝาปิดด้านบนนั้นเหมือนกัน แต่แตกต่างกันในระยะพิตช์ที่ใช้:
ตามมาตรฐานอเมริกัน ANSI MH2 ไส้เป็นประเภท NPT
ตามมาตรฐานสากล ISO 15750 ไส้เป็นประเภท G2 "และG¾" (มาตรฐาน ISO 228-1)
รูปแบบนี้พบในถังพลาสติกหลายถังที่มีขนาดเท่ากัน ส่วนประกอบต่าง ๆ สามารถติดตั้งเข้ากับถังได้ เช่น ปั๊มถัง และเครื่องผสมแบบจุก

ขนาดปกติของถังโลหะ

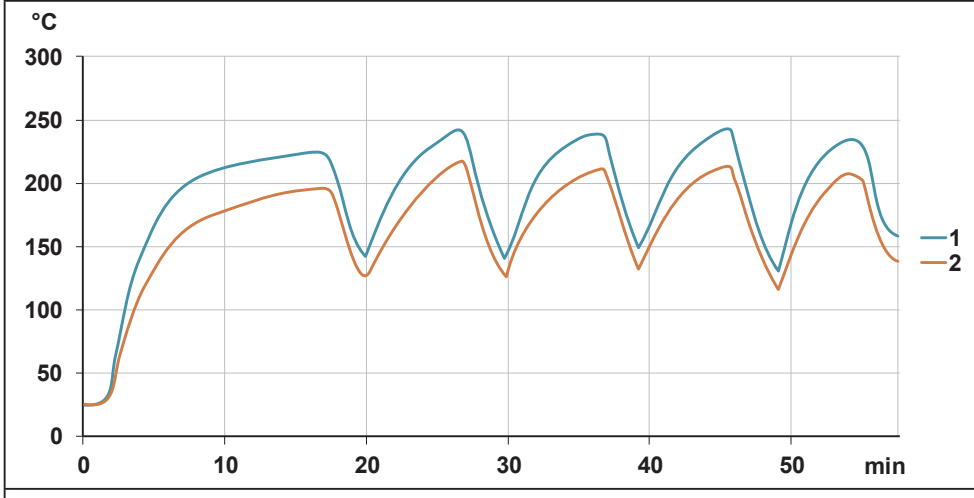


ความจุ ลิตร (แกลลอน สหรัฐ)	ความสูงโดยรวม H มม. ± 6.4 (หน่วยเป็นนิ้ว ± 1/4)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน D หน่วยเป็นมม. ± 3.2 (หน่วยเป็นนิ้ว ± 1/8)	เส้นผ่าศูนย์กลางเหนือห่วง D1 หน่วยเป็นมม. ± 3.2 (หน่วยเป็นนิ้ว ± 1/8)	เส้นผ่าศูนย์กลางเหนือสัน D2 หน่วยเป็นมม. ± 3.2 (หน่วยเป็นนิ้ว ± 1/8	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกที่ไม่มีห่วง D3 หน่วยเป็นมม. ± 3.2 (หน่วยเป็นนิ้ว ± 1/8)	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง E ในการติดตั้ง หน่วยเป็นมม. (นิ้ว)	จำนวนห่วง
19-20 (5)	283 (11-1/8)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
30 (8)	412 (16-1/4	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
38 (10)	489 (19-1/4)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
60 (16)	733 (28-7/8)	356 (14)	371 (14-5/8)	363 (14-5/16)	359 (14-1/8)	210 (8-1/4)	2
75 (20)	552 (21-3/4)	463 (18-1/4)	486 (19-1/8)	475 (18-1/16)	466 (18-3/8)	343 (13-1/2)	2
110/120 (30)	749 (29-1/2)	463 (18-1/4)	486 (19-1/8)	475 (18-11/16)	466 (18-3/8)	343 (13-1/2)	2
200/220 (55)	878 (34-1/2)	572 (22-1/2)	593 (23-3/8)	586 (23-1/16)	574 (22-5/8)	444 (17-1/2)	2
สำหรับเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนต้องพิจารณาเส้นผ่าศูนย์กลาง D3 ไม่ควรใช้เข็มขัดทำความร้อนกับเส้นผ่าศูนย์กลาง D1 หรือ D2							

2-2 การอุ่นถังด้วยเข็มขัดแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

เวลาอุ่นถัง
นี่เป็นคำถามที่พบบ่อยที่สุด: การทำความร้อนถังต้องใช้เวลานานเท่าใด
ประการแรกต้องคำนึงถึงตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ตัวแปรหลักมีดังนี้:
1- ปริมาตรรวมที่จะทำความร้อน
สำหรับปริมาณพลังงานเท่ากัน ปริมาตรมากจะร้อนช้ากว่าปริมาตรน้อย
2- พลังงานทั้งหมดที่ใช้
ตามหลักการพลังงานที่สูงกว่าปกติจะทำให้ร้อนขึ้นเร็วกว่า
3- การกระจายพลังงาน
ความร้อนที่กระจายไปทั่วทั้งมวลหรือบนผนังทั้งหมดจะร้อนขึ้นเร็วกว่าความร้อนที่ตั้งอยู่บนพื้นผิวเล็ก ๆ ของถัง
4- ค่าการนำความร้อนของของเหลว
ยิ่งการนำความร้อนของของเหลวสูงขึ้นเท่าไหร่ความร้อนก็จะถูกส่งไปยังมวลทั้งหมดเร็วขึ้น
5- ความจุความร้อนของของเหลว
เนื่องจากความจุความร้อนหมายถึงพลังงานที่จะใช้กับมวลของของเหลวเพื่อให้ความร้อนของเหลว ของเหลวที่มีความจุความร้อนต่ำ จะร้อนขึ้นด้วยพลังงานเท่ากันเร็วกว่าของเหลงที่มีความจุความร้อนสูง
6- ความหนืดจลนศาสตร์ (y) ของของเหลว
ยิ่งของเหลวมีความหนืดมากขึ้นจะมีกระแสพาความร้อนน้อยลง ดังนั้นพลังงานความร้อนจึงถูกส่งช้ากว่า ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์ผสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดและมีความนำไฟฟ้าต่ำ
7- ฉนวนกันความร้อน
โดยการกำจัดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก พลังงานความร้อนจะกระจุกตัวอยู่ที่ถัง ถังหุ้มฉนวนจะร้อนเร็วขึ้น มีแจ็คเก็ตหุ้มฉนวนสำหรับถังทุกขนาด
8- ประเภทของการควบคุมอุณหภูมิ:
การควบคุมอุณหภูมิประเภท PID ช่วยลดพลังงานที่จ่ายให้กับถังใกล้กับจุดตั้งค่า ดังนั้นเวลาทำความร้อนจะเพิ่มขึ้น แต่ระบบการควบคุมการเปิด/ปิดจะไม่มีความร้อนสูงเกินไป การวางตำแหน่งของจุดวัดที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่นในช่วงกลางของของเหลวอุ่นจะเพิ่มความเสี่ยงของความร้อนสูงเกินไปของผนังเนื่องจากเวลาที่ใช้พลังงานความร้อนไปถึงตำแหน่งที่ศูนย์กลางนี้
9- อุปกรณ์ป้องกันภัยจากความร้อน
เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันภัยจากความร้อนในระบบทำความร้อนอุปกรณ์จะจำกัดอุณหภูมิที่อุปกรณ์ทำความร้อนถึงเพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนสูงเกินไป ข้อจำกัดนี้สามารถเพิ่มระยะเวลาของการทำความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวไม่ดีเนื่องจากการนำความร้อนของภาชนะหรือความหนืดของของเหลว
10-พื้นผิวทำความร้อน
เครื่องทำความร้อนแบบเข็มขัดซิลิโคนจะคลุมเฉพาะส่วนเล็ก ๆ ของพื้นผิวของถังเท่านั้น การทำความร้อนทำได้โดยการนำความร้อนระหว่างพื้นผิวขนาดเล็กกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำความร้อนและความสม่ำเสมอของอุณหภูมิใช้เวลานาน ดังนั้นเมื่อเป็นไปได้ควรเพิ่มพื้นผิวเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนให้สูงสุด

ความร้อนสูงเกินไปของเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นที่ติดตั้งบนถังเปล่า
เราไม่สนับสนุนการใช้งานประเภทนี้เด็ดขาดเนื่องจากอุณหภูมิผนังจะสูงกว่าอุณหภูมิที่จะก่อให้เกิดความเสียหายของเข็มขัดซิลิโคนเสมอ หากแม้จะป้องกันทุกอย่างแล้วแต่ยังเกิดความร้อนสูงเกินไปอยู่ในการใช้งานเราขอแนะนำให้ใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิพื้นผิว (เช่น ตัวจำกัด ที่ 190°C) นอกเหนือจากการควบคุมด้วยเทอร์โมสแตทอิเล็กทรอนิกส์หรือกาเชิงกล และการจำกัดความหนาแน่นของพลังงานพื้นผิวที่ 0.75 วัตต์/ซม.²



การวัดอุณหภูมิที่วัดบนเข็มขัดซิลิโคนความกว้าง 200 มม. ที่ติดตั้งบนถังขนาด 55 แกลลอน (200 ลิตร) กำลังไฟฟ้า 2250 วัตต์ (0.75 วัตต์/ซม.²) ตัวควบคุม PID ที่มีเซนเซอร์อยู่ตรงกลางของถังเปล่า จำกัดอุณหภูมิพื้นผิวอยู่ที่ 190°C โดยใช้เทอร์โมสแตทแบบดิสก์

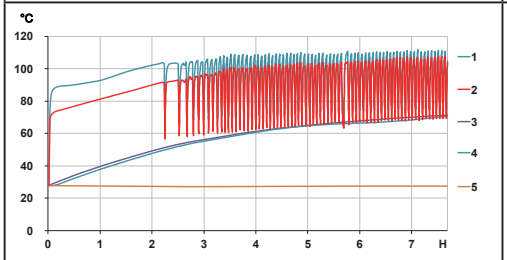
1: อุณหภูมิของผนังด้านในของเข็มขัดทำความร้อน
2: อุณหภูมิของผนังด้านนอกของเข็มขัดทำความร้อน

แม้จะมีการทำงานของตัวจำกัดอุณหภูมิ แต่อุณหภูมิพื้นผิวจะแตกต่างกันระหว่าง 220 และ 240 °C ดังนั้นจึงอาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากเซนเซอร์อุณหภูมิของตัวควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ตั้งอยู่ภายในถังเปล่ามันไม่ได้วัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของผนังซึ่งการควบคุมจะ ไม่เกิดขึ้น

ตัวอย่างที่ใช้งานได้จริงของถังอุ่นกับเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

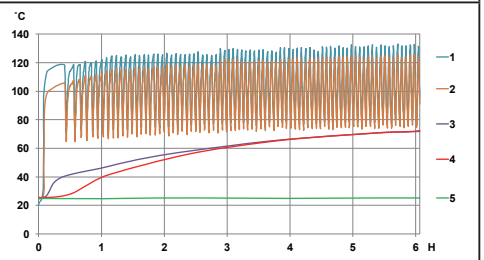
การควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมสแตทแบบท่อแคปิลลารี่ที่ติดตั้งบนพื้นผิว มีการเลือกจุดตั้งค่าไว้ที่ 90°C เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้น้ำมีอุณหภูมิถึงจุดเดือด (โดยไม่มีตัวจำกัดอุณหภูมิบนพื้นผิว)

ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 2250 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.75 วัตต์/ซม.²)



1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง
2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน
3: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน
4: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง
5: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง

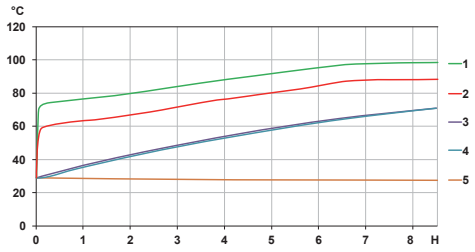
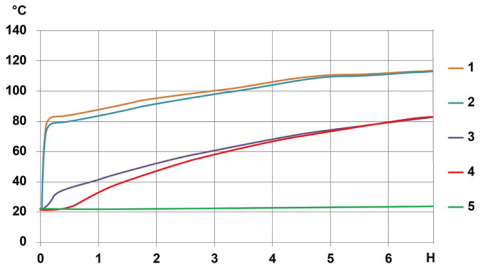
ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำมันไฮดรอลิก HF 24-6ที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 2250 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.75 วัตต์/ซม.²)



1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง
2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน
3: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน
4: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง
5: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง

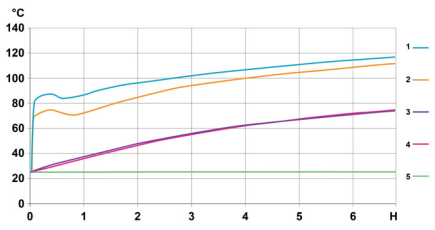
การวิเคราะห์ผลลัพธ์: มีบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกึ่งกลางและส่วนบนของถังนั้นเกือบเป็นศูนย์ ด้านล่างของถังไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความร้อนคือ 7:30 นาทีก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C การทำงานของเทอร์โมสแตททีตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 90°C ส่งผลให้เกิดการแกว่งตัวของอุณหภูมิที่กว้างที่ผนังของเข็มขัดทำความร้อน ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (35%) เมื่อเปรียบเทียบกับแจ็คเก็ตทำความร้อนหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%	**การวิเคราะห์ผลลัพธ์:** มีบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกึ่งกลางและส่วนบนของถังนั้นลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว ด้านล่างของถังไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความร้อนคือ 5 ชั่วโมง ก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C การทำงานของเทอร์โมสแตททีตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 90°C ส่งผลให้เกิดการแกว่งตัวของอุณหภูมิที่กว้างเพิ่มขึ้นถึง 130°C ที่ผนังของเข็มขัดทำความร้อน ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (32%) เมื่อเปรียบเทียบกับแจ็คเก็ตทำความร้อนหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%

การทำความร้อนด้วยการควบคุมด้วยรีโมทอิเล็กทรอนิกส์โดยตัวควบคุม PID ตั้งค่าจุดตั้งค่าไว้ที่ 90°C เซนเซอร์ Pt100 ที่ติดตั้งบนพื้นผิวของเข็มขัดทำความร้อน (โดยไม่มีตัวจำกัดอุณหภูมิบนพื้นผิว)

ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 1500 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.5 วัตต์/ซม.²)	**ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำมันไฮดรอลิก HF 24-6 ที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 1500 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.5 วัตต์/ซม.²)**
	
1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง 2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน 3: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน 4: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง 5: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง	1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง 2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน 3: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน 4: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง 5: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง
การวิเคราะห์ผลลัพธ์: มีบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกึ่งกลางและส่วนบนของถังนั้นเกือบเป็นศูนย์ ด้านล่างของถังไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความร้อนคือ 8:30 นาทีก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (30%) เมื่อเปรียบเทียบกับแจ็คเก็ตทำความร้อนหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%	**การวิเคราะห์ผลลัพธ์:** มีบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกึ่งกลางและส่วนบนของถังนั้นเกือบเป็นศูนย์ ด้านล่างของถังไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาในการทำความร้อนคือ 4:30 นาทีก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C นี่เป็นเพียง 55% ของเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำร้อนในสภาวะเดียวกันเท่านั้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (30%) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำความร้อนแบบแจ็คเก็ตหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%

การทำความร้อนด้วยรีโมทอิเล็กทรอนิกส์ ตัวควบคุม PID เซนเซอร์ Pt100 ที่ถูกจุ่มไว้ตรงกลางของถัง อุณหภูมิพื้นผิวของเข็มขัดทำความร้อนที่ได้รับการป้องกันโดยตัวจำกัดอุณหภูมิแบบดิสก์โลหะคู่ที่อุณหภูมิ 190°C เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ทำความร้อนจากความร้อนสูงเกินไป

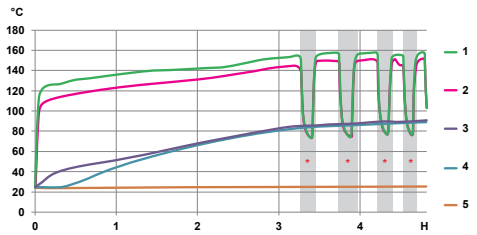
ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 2250 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.75 วัตต์/ซม.²)



1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง
2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน
3: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน
4: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง
5: อุณหภูมิของน้ำที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง

การวิเคราะห์ผลลัพธ์: มีการบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตรงกลางและส่วนบนของถังนั้นเท่ากันอย่างรวดเร็วมากในขณะที่ด้านล่างของถังไม่ได้รับความร้อนเลย เวลาในการทำความร้อนคือ 6 ชั่วโมง 30 นาทีก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (35%) เมื่อเปรียบเทียบกับแจ็คเก็ตทำความร้อนหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%

ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาของถังโลหะขนาด 220 ลิตร ที่บรรจุด้วยน้ำมันไฮดรอลิก HF 24-6 ที่อุ่นโดยเข็มขัดทำความร้อนแบบซิลิโคนกว้าง 200 มม. โดยไม่มีฉนวนความร้อนกำลังไฟ 2250 วัตต์ (โหลดพื้นผิว 0.75 วัตต์/ซม.²)



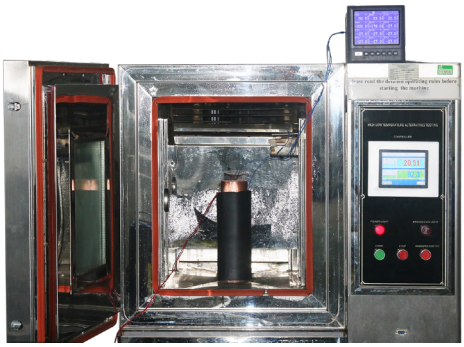
1: อุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเข็มขัดซิลิโคนและถัง
2: อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของเข็มขัดซิลิโคน
3: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านบน
4: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง
5: อุณหภูมิของน้ำมันที่ศูนย์กลางเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 50 มม. จากด้านล่าง

การวิเคราะห์ผลลัพธ์: มีการบันทึกไว้ในการทดสอบเหล่านี้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตรงกลางและส่วนบนของถังนั้นเท่ากันอย่างรวดเร็วมากในขณะที่ด้านล่างของถังไม่ได้รับความร้อนเลย ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาทีก่อนที่อุณหภูมิของของเหลวที่ระดับเข็มขัดทำความร้อนจะสูงถึง 70°C
เมื่อเปรียบเทียบกับการทำความร้อนของน้ำภายใต้สภาวะเดียวกันการประหยัดเวลาเป็นสิ่งสำคัญ (อัตราส่วน 0.4)
อย่างไรก็ตามอุณหภูมิพื้นผิวของอุปกรณ์ทำความร้อนถึงขีดจำกัดที่ 190°C เนื่องจากการนำความร้อนต่ำของน้ำมันและความจุความร้อนต่ำกว่า ตัวจำกัดอุณหภูมิพื้นผิวเป็นสิ่งจำเป็น (โซนที่มีเครื่องหมาย * คือระยะเวลาที่ตัวจำกัดได้ตัดการจ่ายไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อน)
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำมาก (25%) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำความร้อนแบบแจ็คเก็ตหุ้มฉนวนที่สามารถทำประสิทธิภาพได้ถึง 85-90%

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนสำหรับของเหลวที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนแบบเข็มขัดซิลิโคน

เพื่อให้แนวคิดแก่ผู้ใช้ที่ให้ความร้อนผลิตภัณฑ์เฉพาะ เราดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่เหมือนกัน การทดสอบเปรียบเทียบโดยการบันทึกเวลาที่จำเป็นและการวิวัฒนาการของอุณหภูมิในระหว่างการให้ความร้อนของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ลิตร จาก 20°C ถึง 90°C (วัดที่ศูนย์กลางเรขาคณิตของถัง)
การทดสอบเหล่านี้ทำขึ้นด้วยค่าพลังงานโหลดบนพื้นผิวที่ต่างกันสองค่าของ: 0.1 วัตต์/ซม.² และ 0.4 วัตต์/ซม.²

<u>เงื่อนไขการทดสอบ:</u> การทำความร้อนที่ทำในถังทรงกระบอก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 76 มม. สูง 280 มม.) โดยมีกันแบน ทำจากทองแดงสีแดงหนา 2 มม. ส่วนทรงกระบอกทั้งหมดที่เติมด้วยผลิตภัณฑ์ (250 มม.) ได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นหุ้มด้วยโฟม PVC-NBR ขนาด 20 มม. การทำความร้อนทำโดยไม่มีการควบคุมอุณหภูมิหรือตัวจำกัดอุณหภูมิเพื่อความปลอดภัย อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 20°C ในตู้ควบคุมสภาพแวดล้อม การทำสอบหยุดเมื่ออุณหภูมิที่ศูนย์กลางของถังถึง 90 °C

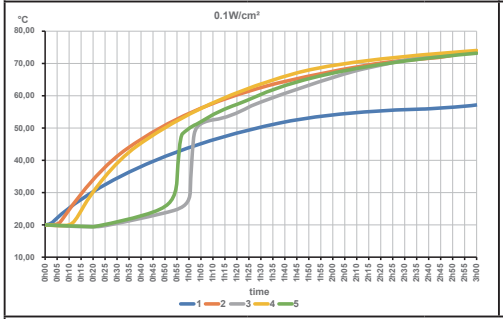


อุปกรณ์ทดสอบ

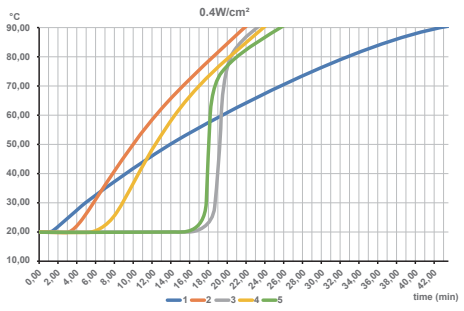
ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ผลิตภัณฑ์	การนำความร้อน วัตต์/เมตรเคลวิน	ความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัมเคลวิน)	ความหนืดจลนศาสตร์ที่ 20 °C มม.²/วิ	แรงดึงดูดเฉพาะ กก./ม.3
น้ำ	0.597@20°C	4.182	1.006@20°C	0.998@20°C
น้ำมันมะกอก	0.189@15°C	1.25	91.5@20°C	0.922@20°C
น้ำมันหมู	0.407@25°C	2.1	แข่แข็ง (ละลายระหว่าง 35 และ 42 °C)	0.924-0.930:
น้ำมันแร่ ISO VG 680	0.134@40°C	1.99	4000@20°C	0.850
เนย	0.197@46°C	2.3	แข่แข็ง (ละลายระหว่าง 27 และ 32 °C)	0.87-0.93:

ด้วยโหลดของพื้นผิว 0.1 วัตต์/ซม.² (60 วัตต์)



ด้วยโหลดของพื้นผิว 0.4 วัตต์/ซม.² (240 วัตต์)



1: น้ำ 2: น้ำมันมะกอก 3: น้ำมันหมู 4: น้ำมันแร่ ISO VG 680 5 : เนย

การวิเคราะห์ผลลัพธ์: น้ำมีความจุความร้อนมากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ 2 ถึง 4 เท่าจึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการอุ่นและทำให้ความร้อนได้ช้ากว่ามาก ผลิตภัณฑ์ที่แข่แข็งที่อุณหภูมิห้อง (เนย ไขมันสัตว์) จะเก็บส่วนที่เย็นเป็นเวลานานเนื่องจากขาดกระแสพาความร้อนก่อนที่จะไปถึงอุณหภูมิของน้ำมันอื่น ๆ อย่างรวดเร็วเมื่อกลายเป็นของเหลว

3- การทำความร้อนท่อ

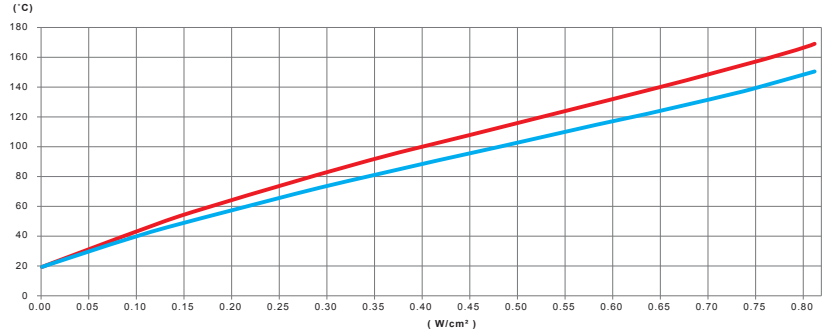
3-1 อุณหภูมิพื้นผิวท่อ

การใช้งานเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นอีกอย่างคือการทำความร้อนหรือการป้องกันการแข็งตัวของท่อ อุณหภูมิของผิวท่อเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุด เราจึงทำการทดสอบจำนวนหนึ่งเพื่อให้ผู้ใช้มีเกณฑ์มาตรฐานก่อนเลือกเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นสำหรับการใช้งานเหล่านี้

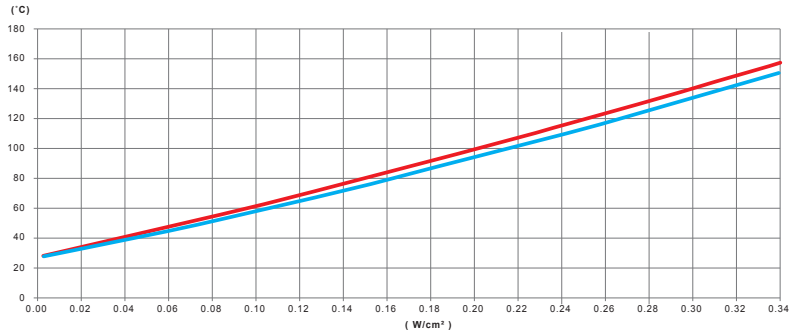
สภาพของการทดสอบเปรียบเทียบ: ริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนถูกพันบนท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 25 มม. เป็น PVC-U เหล็กที่ถูกกัลวาไนซ์และเหล็กสแตนเลส

มีการทดสอบเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดลักษณะของความต้องการพลังงาน ท่อถูกทำให้ร้อนด้วยริบบิ้นซิลิโคนที่ยืดหยุ่นพันบนท่อที่มีระยะห่างเท่ากับสองเท่าของความกว้างจึงคลุมครึ่ง หนึ่งของพื้นผิวของท่อ กำลังไฟฟ้าหน่วยเป็น วัตต์/ซม.^{2} ที่ระบุในผลการทดสอบคือกำลังไฟฟ้าของเทปทำความร้อน ดังนั้นจึงต้องถูกหารด้วย 2 เพื่อนำกลับไปที่พื้นผิวของท่อ อุณหภูมิผนังของท่อนอกพื้นที่ที่ครอบคลุมโดยเทปทำความร้อนทำเครื่องหมายเป็น สีน้ำเงิน ของอุณหภูมิผนังของท่อในพื้นที่ที่ครอบคลุมโดยเทปทำความร้อนที่มีการทำเครื่องหมายเป็น สีแดง บันทึกการวัดที่อุณหภูมิแวดล้อม 25°C

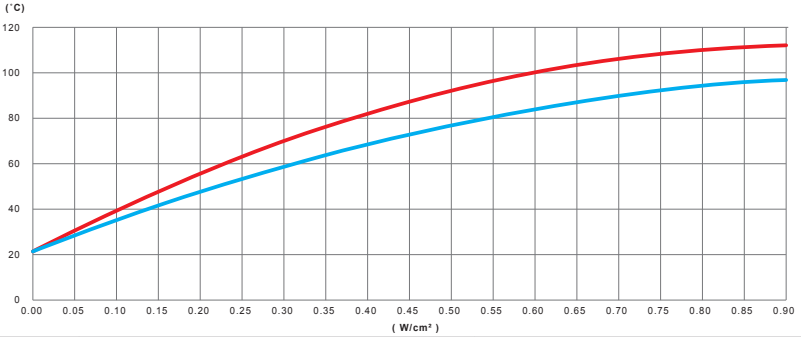
ผลการทดสอบท่อเหล็กสแตนเลส



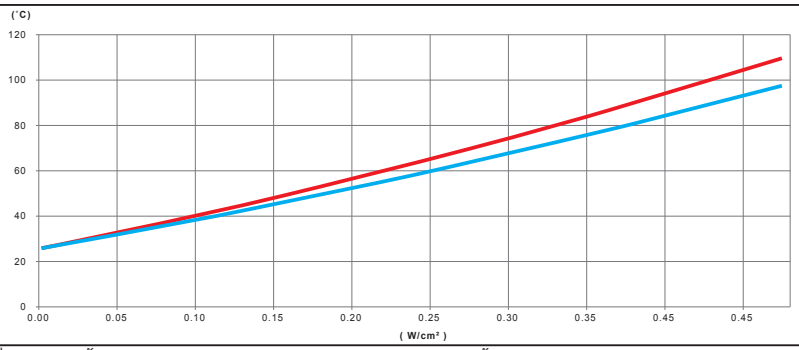
การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสแตนเลสที่ไม่มีฉนวนความร้อน



การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสแตนเลสที่ว่างเปล่าหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR 20 มม.



การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสแตนเลสเติมด้วยน้ำไม่หมุนเวียน ไม่มีฉนวนความร้อน



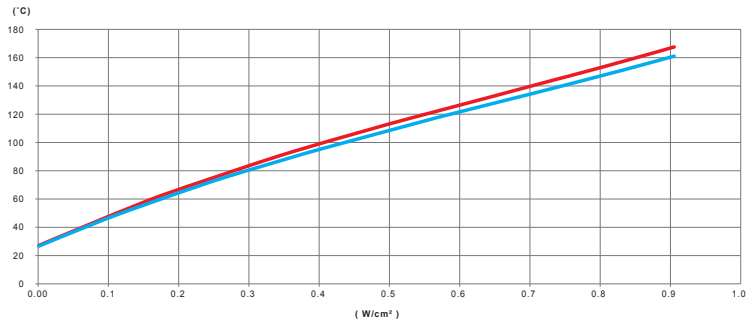
การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสแตนเลสเติมด้วยน้ำไม่หมุนเวียน หุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR 20 มม

การวิเคราะห์ผลลัพธ์:

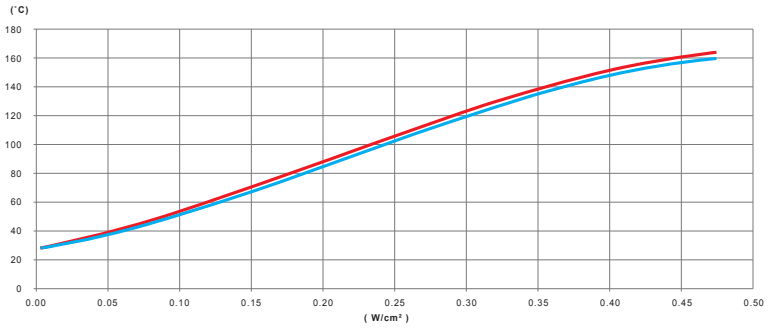
- ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ: เนื่องจากท่อเหล็กสแตนเลสเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงสังเกตเห็นความแตกต่างอย่างมากของอุณหภูมิระหว่างโซนที่ให้ความร้อนและโซนที่ไม่ร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับท่อที่ว่างเปล่า ความแตกต่างนี้จะถูกลดทอนระหว่างการใช้ท่อหุ้มฉนวน

- พลังงานที่แนะนำ: สำหรับท่อเหล็กสแตนเลสไม่มีฉนวนที่มีน้ำที่ไม่ไหลเวียน เช่น ท่อจ่ายน้ำในบ้าน ค่า 0.42 วัตต์/ซม.² เพียงพอสำหรับการป้องกันการแข็งตัวได้ถึง -20°C สำหรับท่อหุ้มฉนวน ค่านี้คือ 0.3 วัตต์/ซม.²

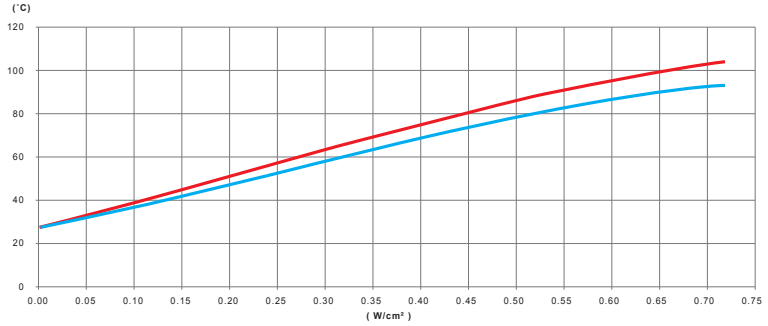
ผลการทดสอบกับท่อเหล็กสังกะสี



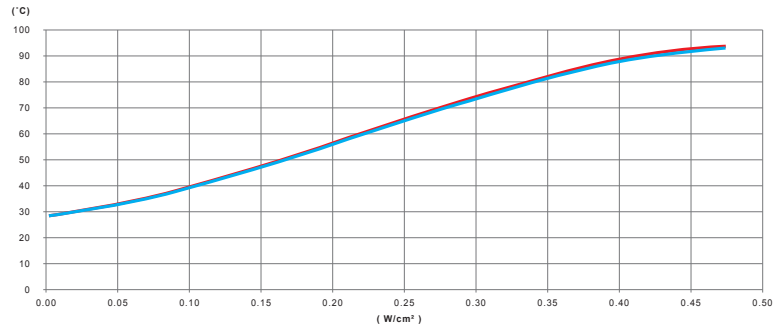
การเปลี่ยนแปลง ของการทำงานที่กำลังไฟ วัตต์/ ซม² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคน ของอุณหภูมิผนังว่างเปล่า ของท่อเหล็กสังกะสีที่ไม่มีฉนวนความร้อน



การเปลี่ยนแปลง ของการทำงานที่กำลังไฟ วัตต์ /ซม² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังว่างเปล่า ของท่อเหล็กสังกะสี มีฉนวนความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR ขนาด 20 mm.



การเปลี่ยนแปลงของการทำงานที่กำลังไฟ วัตต์ /ซม² ของริบบิ้นความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสังกะสีที่เติมด้วยน้ำที่ไม่หมุนเวียน ไม่หุ้มฉนวนความร้อน



การเปลี่ยนแปลง ของการทำงานที่กำลังไฟ วัตต์ /ซม² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อเหล็กสังกะสีที่เติมด้วยน้ำไม่หมุนเวียน, ฉนวนความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR ขนาด 20mm.

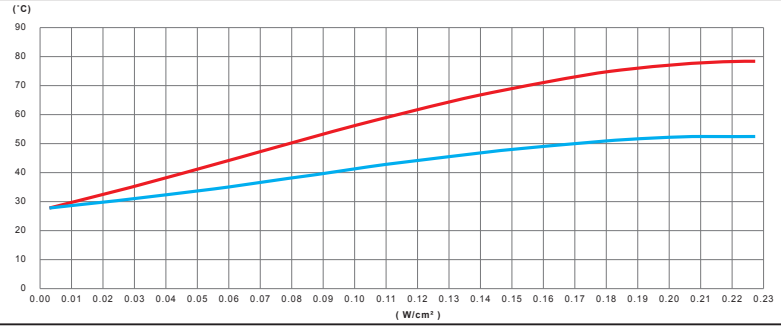
การวิเคราะห์ผลลัพธ์:

- ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ: เนื่องจากท่อเหล็กเป็นตัวนำความร้อนที่ดีพอสมควรเราจึงสามารถสังเกตความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ดีระหว่างโซนที่มีความร้อนและโซนที่ไม่มีความร้อนโดยที่ท่อทั้งสองเกือบจะเท่ากันในท่อที่ถูกแยก

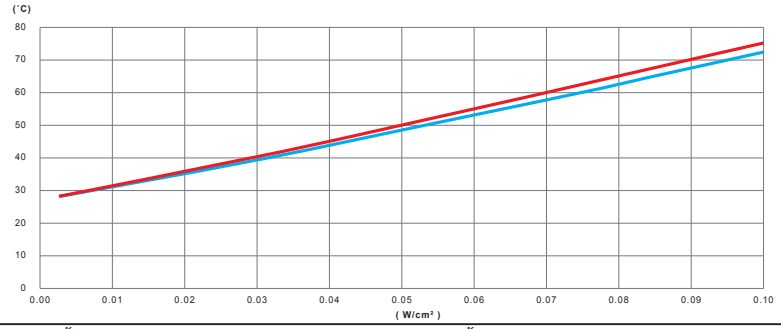
- พลังงานที่แนะนำ: สำหรับท่อเหล็กสแตนเลสไม่มีฉนวนที่มีน้ำที่ไม่ไหลเวียน เช่น ท่อจ่ายน้ำในบ้าน ค่า 0.4 วัตต์/ซม.² เพียงพอสำหรับการป้องกันการแข็งตัวได้ถึง -20°C สำหรับท่อหุ้มฉนวน ค่านี้คือ 0.27 วัตต์/ซม.²

ผลการทดสอบท่อ U-PVC

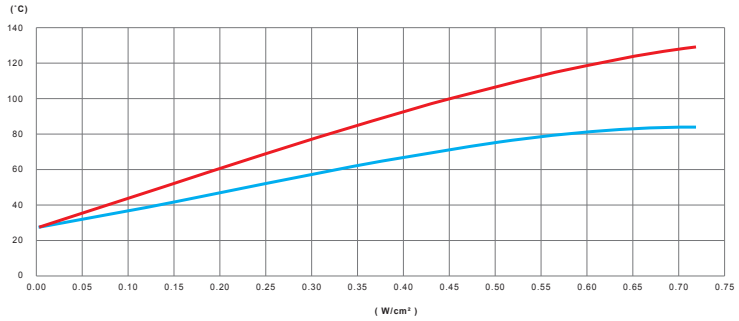
การทำความร้อนของท่อพลาสติกถูกจำกัดโดยอุณหภูมิอ่อนตัว
สิ่งสำคัญที่จะต้องทราบคือว่าหากท่อพีวีซีมีแนวโน้มที่จะว่างเปล่าในช่วงเวลาอุ่น อุณหภูมิภายใต้ริบบิ้นเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนจะต้องอยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิอ่อนตัว นี้ซึ่งอยู่ระหว่าง 80 และ 100°C ขึ้นอยู่กับประเภทของพีวีซี (PVC, U-PVC, C-PVC)



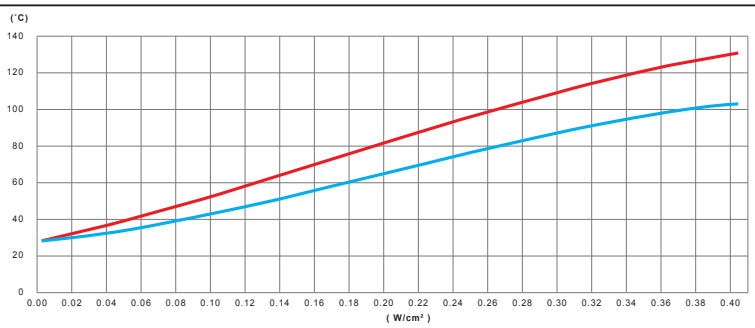
การเปลี่ยนแปลง ของการทำงานที่กำลังไฟ วัตต์/ซม² ของริบบิ้นความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังว่างของท่อPVC ที่ไม่มีฉนวนความร้อน



การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อ PVC ที่ว่างเปล่าหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR 20 มม.



การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อ PVC เติมด้วยน้ำไม่หมุนเวียน ไม่มีฉนวนความร้อน



การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกำลังไฟหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² ของริบบิ้นทำความร้อนแบบซิลิโคนของอุณหภูมิผนังของท่อ PVC เติมด้วยน้ำไม่หมุนเวียน หุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยโฟม PVC-NBR 20 มม

การวิเคราะห์ผลลัพธ์:

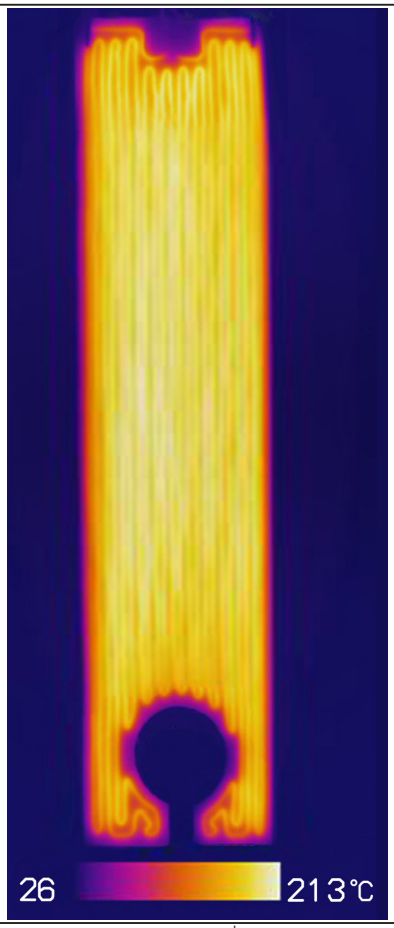
- **ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ:** เนื่องจากท่อพีวีซีเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างโซนที่มีความร้อนและโซนที่ไม่มีความร้อนซึ่งจะลดลงในท่อหุ้มฉนวน แต่ยังคงมีอุณหภูมิมากกว่า 20°C
- **พลังงานที่แนะนำ:** สำหรับท่อ PVC หรือ U-PVC ที่มีฉนวนที่มีน้ำที่ไม่ไหลเวียน เช่น ท่อจ่ายน้ำในบ้าน ค่า 0.45 วัตต์/ซม.² เพียงพอสำหรับการป้องกันการแข็งตัวได้ถึง -20°C สำหรับท่อหุ้มฉนวน ค่านี้คือ 0.22 วัตต์/ซม.²

4- การทำความร้อนบอร์ดด้วยเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

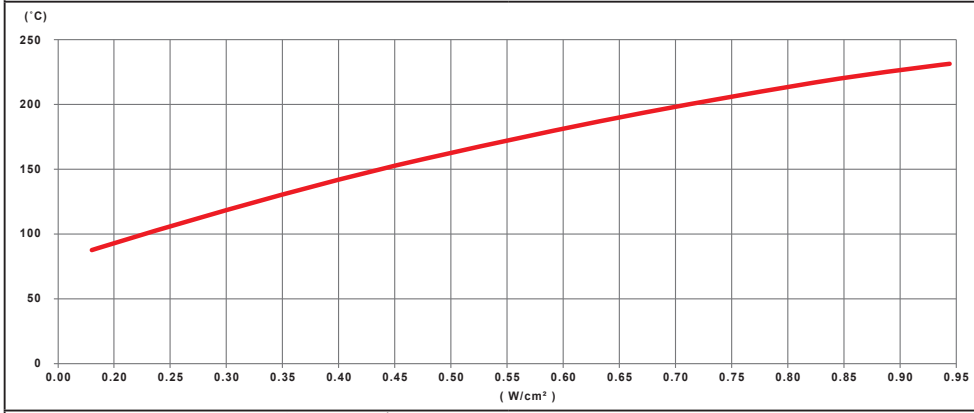
4-1 อุณหภูมิพื้นผิวของบอร์ดตามกำลังของพื้นผิว

ขึ้นอยู่กับกำลังของพื้นผิวหน่วยเป็น วัตต์/ซม.² อุณหภูมิของบอร์ดที่อุ่นจะคงที่ในค่าที่ต่างกัน อุณหภูมินี้จะแตกต่างกันไปตามระดับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อม (ในอากาศที่สงบ ในอากาศที่มีอากาศถ่ายเท การสัมผัสกับบอร์ดที่ทำด้วยโลหะหรือพลาสติกที่แตกต่างกัน) การทดสอบด้านล่างมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงแนวคิดทั่วไปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้ (การวัดแบบไม่สัมผัสทำโดยเทอร์โมกราฟี)

การวัดบนเครื่องความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นที่แขวนอยู่ในอากาศ

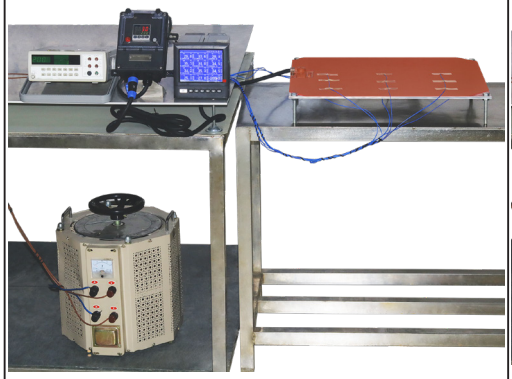
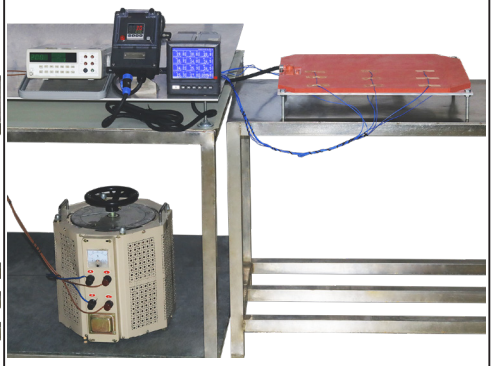
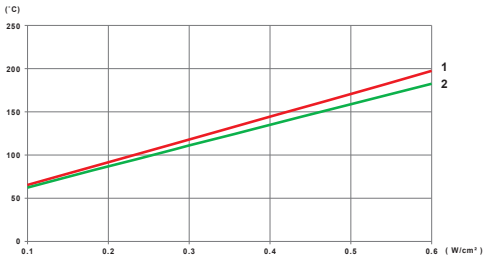
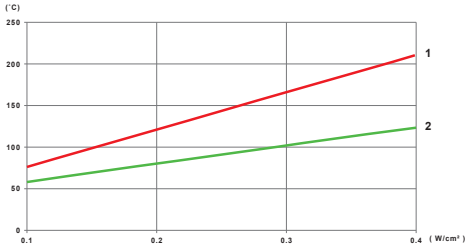


ภาพเทอร์โมกราฟฟิกของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนแบนขนาด 2.4 มม. ที่มีกำลังไฟฟ้าพื้นผิว 1 วัตต์/ซม.² ที่แขวนในอากาศสงบ ไม่ถูกยึดบนบอร์ดที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C อุณหภูมิพื้นผิวถึง 213°C ใกล้จุดทำลาย



ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนหนา 2.5 มม. เทียบกับกำลังไฟฟ้าของพื้นผิว เครื่องทำความร้อนที่ถูกแขวนไว้ในอากาศที่สงบ ไม่ยึดติดกับพื้นผิวโลหะที่อุณหภูมิโดยรอบ 25°C เครื่องทำความร้อนไม่ได้รับการปกป้องโดยระบบจำกัดอุณหภูมิ ในเงื่อนไขเหล่านี้เครื่องทำความร้อนจะได้รับความเสียหายที่ไม่สามารถกู้คืนได้ที่อุณหภูมิ 235°C

การวัดบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นติดตั้งบนผนังโลหะที่ไม่ได้ถูกจุ่ม

ไม่มีฉนวนกันความร้อน	มีฉนวนความร้อนเป็น โฟมซิลิโคน 10 มม.
	
	
1: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยของแผ่นอลูมิเนียม 2: อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวด้านนอกของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน	1: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยของแผ่นอลูมิเนียม 2: อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวด้านนอกของโฟมฉนวน
การแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวกับภาระกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนหนา 2.5 มม. ที่ถูกวัลคาไนซ์บนแผ่นอลูมิเนียมแบนหนา 6 มม. อุณหภูมิโดยรอบคือ 25°C แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิพื้นผิว 195°C สำหรับความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าพื้นผิว 0.6 วัตต์/ซม.² ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นอลูมิเนียมและพื้นผิวด้านนอกของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนยังคงถูกจำกัด	การแปรผันของอุณหภูมิพื้นผิวกับภาระกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนหนา 2.5 มม. ที่ถูกวัลคาไนซ์บนแผ่นอลูมิเนียมแบนหนา 6 มม. โฟมฉนวนซิลิโคนที่มีความหนา 10 มม. จะถูกวัลคาไนซ์บนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน อุณหภูมิโดยรอบคือ 25°C แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิพื้นผิว 210°C สำหรับความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าพื้นผิว 0.4 วัตต์/ซม.² ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 หน้า สูงถึง 90°C ที่ 0.4 วัตต์/ซม.²

5- ตัวแปรเชิงโครงสร้างของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

5-1 ตัวแปรทั่วไป

คุณสมบัติหลักของตัวต้านทานทำความร้อนแบบซิลิโคนคือ: ความยืดหยุ่นและความเป็นไปได้ในการสร้างความหนาแน่นของพลังงานพื้นผิวสูง ผลที่ตามมาของคุณลักษณะเหล่านี้คือการมีอิทธิพลอย่างมากต่อวิธีการก่อสร้าง

1- เพื่อให้ได้พลังงานความร้อนสูงจำเป็นต้องใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าความต้านทานต่ำเนื่องจากพลังงานเท่ากับ U^2/R ดังนั้นสำหรับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดความต้านทานจะแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้า

2- เพื่อรักษาความยืดหยุ่นตัวนำความร้อนจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้และจัดเรียงในรูปแบบที่เอื้อต่อการโค้งงอ

3- เพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ดีจำเป็นต้องมีความยาวของลวดมากที่สุดต่อหน่วยพื้นผิว

4- เพื่อไม่ให้เกิดจุดร้อนและการทำลายแผ่นซิลิโคนที่ถูกวัลคาไนซ์รอบ ๆ ลวดทำความร้อนจำเป็นต้องให้กำลังของพื้นผิวอยู่ในระดับต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้อุณหภูมิพื้นผิวยังคงต่ำกว่าที่ซิลิโคนจะรับได้

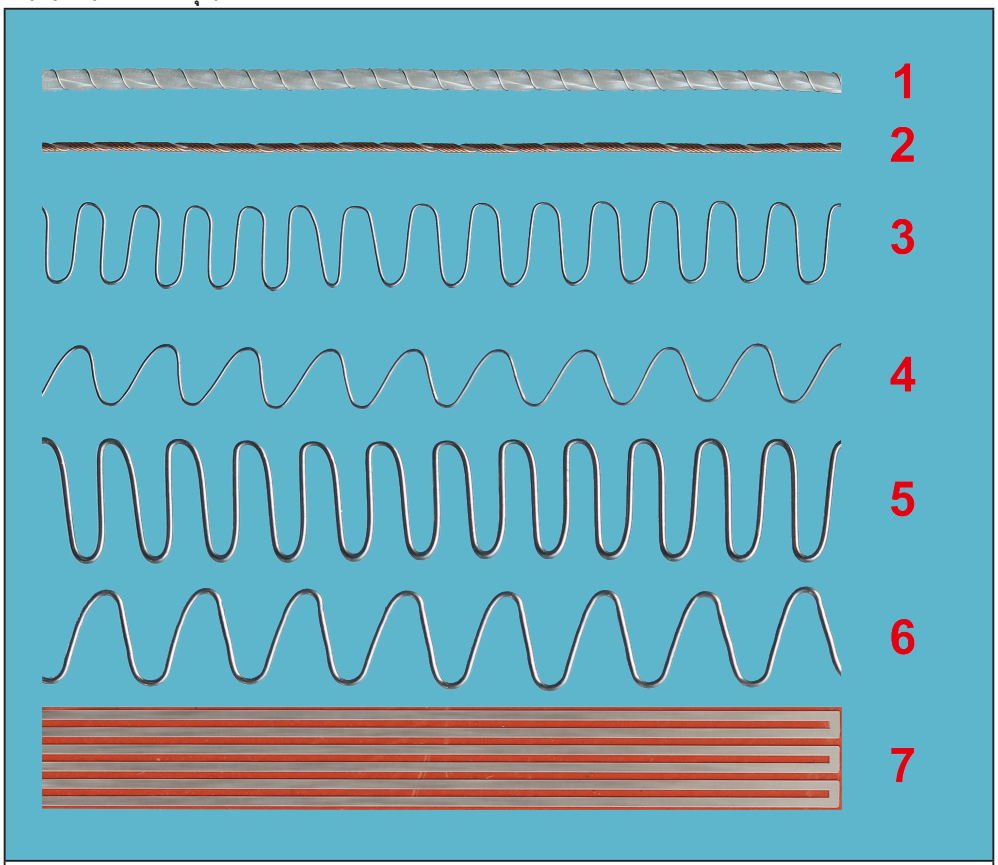
เราจะเห็นได้ว่าตัวแปร 2 3 และ 4 นั้นในแวบแรกดูเหมือนจะเข้ากันไม่ได้กับตัวแปร 1 และการผลิตตัวต้านทานทำความร้อนแบบยืดหยุ่นกำลังสูงดูเหมือนจะเป็นไปไม่ได้ อย่างไรก็ตามผู้ผลิตลวดทำความร้อนส่วนใหญ่ได้พัฒนาโลหะผสมที่มีความต้านทานสูงเพื่อลดความยาวที่จำเป็น เนื่องจากเป็นโซลูชันที่ประหยัดที่สุด

ดังนั้นตัวแปรที่เหลืออยู่ที่สามารถถูกดัดแปลงได้มีดังนี้:

- เทคโนโลยีการขึ้นรูปลวด (ขดลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางรอบแกนใยแก้วขนาดเล็ก สปริงแบนซิกแซก สปริงแบนไซนูซอยด์)
- การประกอบวงจรหลาย ๆ วงจรแบบขนานเพื่อแบ่งกำลังต่อวงจร
- การเลือกลวดทำความร้อนในโลหะผสมที่มีความต้านทานต่ำพิเศษ

มันเป็นการรวมกันของโซลูชันทางเทคนิคเหล่านี้ที่มีการศึกษาเป็นกรณี ๆ ไป ซึ่งรับประกันความยืดหยุ่นที่ดีและความหนาแน่นที่ดีของลวดทำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงมีความสมดุลของอุณหภูมิที่ดีโดยไม่มีจุดร้อน

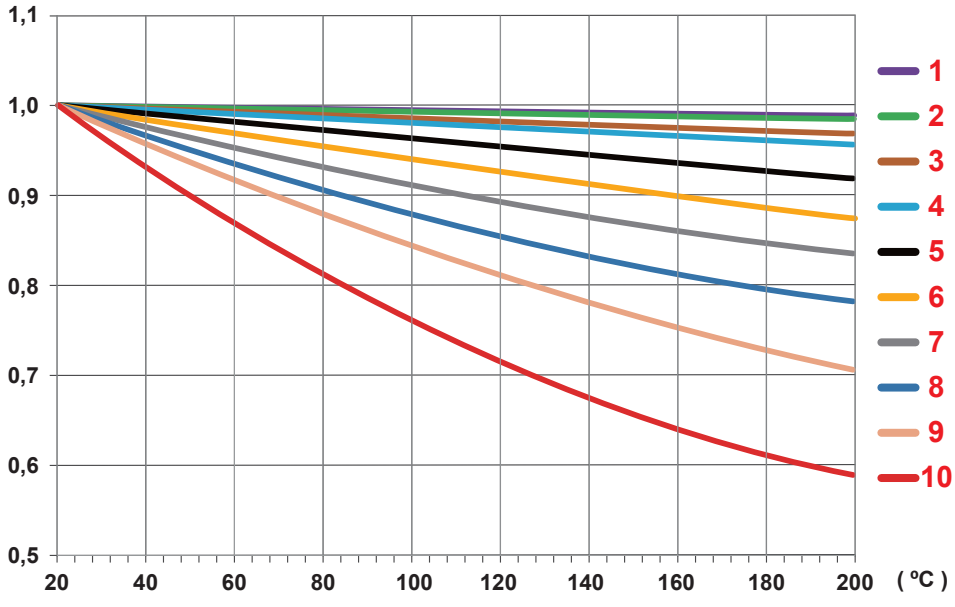
นี่คือวิธีการที่ทันสมัยบางวิธีในการขึ้นรูปลวดสำหรับเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น



1: พันรอบแกนใยแก้วด้วยตัวนำ 1 ถึง 6 ตัวแบบขนานกัน 2: พันรอบแกนอะรามิดด้วยตัวนำ 1 ถึง 6 ตัวแบบขนานกัน 3, 4, 5, 6: สปริงซิกแซกแบบแบน 7: ตาข่ายทำความร้อนทำจากการแกะสลักทางเคมีของฟอยล์โลหะ

5-2 การใช้ลวดต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิบวก ศูนย์หรือลบ และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานตามอุณหภูมิ

ตัวแปรที่รู้จักกันน้อยของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นคือการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของเครื่องทำความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
ในขณะที่ในเครื่องทำความร้อนที่อุณหภูมิสูง ผู้ผลิตกำลังมองหาลวดทำความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานอุณหภูมิใกล้กับศูนย์และประสิทธิภาพที่ดีโดยไม่ต้องทำการออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิสูงโดยใช้โลหะผสมนิกเกิลโครเมียมเป็นต้น ในเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น ความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ต้องการนั้นต่ำกว่าเนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 250°C
อุณหภูมิสูงสุดที่ต่ำกว่านี้ทำให้สามารถใช้โลหะและโลหะผสมได้มากกว่า โดยมีค่าความต้านทานอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.017 ถึงมากกว่า 0.50 โอห์มมม.²/ม. ช่วงความต้านทานที่กว้างมากนี้สามารถใช้สร้างอุปกรณ์ทำความร้อนได้เกือบทุกพื้นผิวในขณะที่ยังคงอยู่ในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดทำความร้อนที่มีความยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามโลหะและโลหะผสมเหล่านี้ทั้งหมดมีลักษณะความแปรปรวนของความต้านทานอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้ตัวแปรนี้เพื่อผลิตอุปกรณ์ทำความร้อนที่จะควบคุมตนเอง (หรือไม่) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
ตัวอย่างเช่น การใช้โลหะผสม 9 ในตารางด้านล่าง พลังงานของอุปกรณ์ทำความร้อนจะเกือบเท่ากับถูกหารด้วย 2 ระหว่าง 20 และ 200°C ในขณะที่พลังงานจะยังคงคงที่หากใช้โลหะผสม 1



ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของกำลังไฟของลวดทำความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสำหรับโลหะผสมบางชนิดและโลหะทั่วไป

1 : NiCr80-20 ; 2 : CuNi44 ; 3 : CuNi23 ; 4 : CuNi10 ; 5 : CuNi6 ; 6 : 304 ; 7 : CuNi2 ; 8 : CuNi1 ; 9 : Cu ; 10 : Ni

5-3 การออกแบบแผ่นซิลิโคนที่ถูกเพิ่มความแข็งแรง

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อราคาของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นคือน้ำหนักของซิลิโคนต่อ ม.² ซิลิโคนเป็นวัตถุดิบที่มีราคาแพงดังนั้นการพัฒนาเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่นจึงขึ้นอยู่กับการใช้วัสดุนี้ให้น้อยที่สุด
ฐานเป็นตาข่ายใยแก้วที่จะถูกเคลือบแต่ละด้านด้วยชั้นของเรซินซิลิโคน จากนั้นถูกทำโพลีเมอไรซ์โดยผ่านโรงทำความร้อน ความหนาของซิลิโคนทั้งหมดถูกคำนวณเพื่อให้ฉนวนไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้) และตาข่ายใยแก้วเพื่อให้ความแข็งแรงเชิงกลโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการยืดตัว สามารถทำวัลคาไนซ์เข้าด้วยกันได้หลายชั้นเพื่อตอบสนองการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง
สามารถทำเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นได้ในการตั้งค่าเชิงโครงสร้างหลัก 6 ข้อ:
A- มีความหนารวม 1.5 ถึง 1.6 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาฉนวน 0.75 ถึง 0.8 มม. ที่ทั้งสองด้านของตัวนำทำความร้อน ทำด้วยลวดทำความร้อนขด มันจะให้ความ

ต้านทานที่ดีที่สุดต่อในการดัด วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับซีรีย์ขนาดเล็ก แต่ความแข็งแรงเชิงกลจะลดลงตามความหนาที่น้อย ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีพื้นผิวขนาดเล็กหรือตั้งใจที่จะติดกาว เนื่องจากมีมวลน้อยจึงสามารถวัดอุณหภูมิได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วยเทอร์โมสแตทและเซนเซอร์อุณหภูมิที่ติดตั้งบนพื้นผิว

B- มีความหนารวม 1.5 ถึง 1.6 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาของฉนวน 0.75 ถึง 0.8 มม. ทั้งสองด้านของเครือข่ายทำความร้อนที่ผลิตโดยการแกะสลักทางเคมี โซลูชันนี้ประหยัดที่สุดสำหรับการผลิตจำนวนมาก แต่ทนต่อการดัดงอน้อยที่สุด เนื่องจากมีมวลน้อย และการกระจายความร้อนที่ดีที่สุด จึงสามารถวัดอุณหภูมิได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วยเทอร์โมสแตทและเซนเซอร์อุณหภูมิที่ติดตั้งบนพื้นผิว

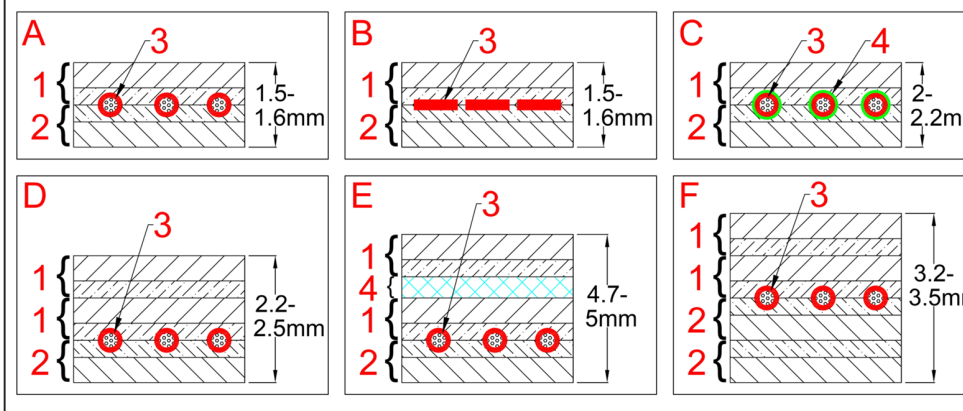
C- มีความหนารวม 2 ถึง 2.2 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาฉนวน 1 ถึง 1.1 มม. ที่ทั้งสองด้านของตัวนำทำความร้อน โซลูชันนี้ช่วยปรับปรุงฉนวนไฟฟ้าไปทางด้านนอกของส่วนที่ทำความร้อนเนื่องจากการใช้ตัวนำทำความร้อนที่มีฉนวนกันความร้อน FEB หลัก ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นี้มีฉนวนกันความร้อนระดับ 2 โดยไม่เพิ่มความหนามากเกินไป โซลูชันนี้ใช้ในเครื่องทำความร้อนที่มีการควบคุมที่ต้องใช้ฉนวนระดับ 2

D- มีความหนารวม 2.4 ถึง 2.5 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาฉนวน 0.75 ถึง 0.8 มม. ด้านหนึ่งและ 1.6 มม. อีกด้วยหนึ่งของตัวนำทำความร้อน โซลูชันนี้ปรับปรุงความต้านทานเชิงกลและฉนวนไฟฟ้าไปทางด้านนอกของส่วนที่ทำความร้อน ใช้สำหรับเข็มขัดทำความร้อนที่ติดตั้งและถอดประกอบบ่อยครั้งและอุปกรณ์ที่มีพื้นผิวขนาดใหญ่ที่ต้องรับความเค้นเชิงกล

E- มีความหนารวม 2.5 ถึง 2.6 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาฉนวน 0.75 ถึง 0.8 มม. ด้านหนึ่งและ 1.6 มม. อีกด้วยหนึ่งของตัวนำทำความร้อน ตาข่ายลวดละเอียดถูกประกบในความหนา 1.6 มม. นี้เพื่อป้องกันการเจาะและยังช่วยให้ต่อสายดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โซลูชันนี้ปรับปรุงการป้องกันไฟฟ้าและความต้านทานต่อการยืดตัว แต่จะลดความยืดหยุ่น

ตัวแปรของโซลูชันนี้ประกอบด้วยการใช้ตัวนำทำความร้อนซึ่งประกอบด้วยฉนวนไฟฟ้าหลักที่หุ้มด้วยโลหะถักเปีย

F- มีความหนารวม 3.2 ถึง 3.4 มม. ซึ่งสอดคล้องกับความหนาฉนวน 1.6 มม. ที่ทั้งสองด้านของตัวนำทำความร้อน โซลูชันนี้ให้ความแข็งแรงเชิงกลสูงสุดและทำให้สามารถผลิตฉนวนความร้อนสองชั้น (ระดับ 2) อย่างไรก็ตามความหนาที่เพิ่มขึ้นนี้ระหว่างตัวนำทำความร้อนและพื้นผิวจะเพิ่มเวลาในการถ่ายเทความร้อนดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดความร้อนสูงเกินไป



1: สารประกอบซิลิโคนเสริมใยแก้วบนหน้าบน; 2: สารประกอบซิลิโคนเสริมใยแก้วบนหน้าล่าง; 3: ลวดทำความร้อน 4: ลวดตาข่ายโลหะสำหรับการต่อลงดินและการเสริมแรงเชิงกล 5: ฉนวนหลัก FEP ของลวดทำความร้อน

5-4 การเคลือบพื้นผิวของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

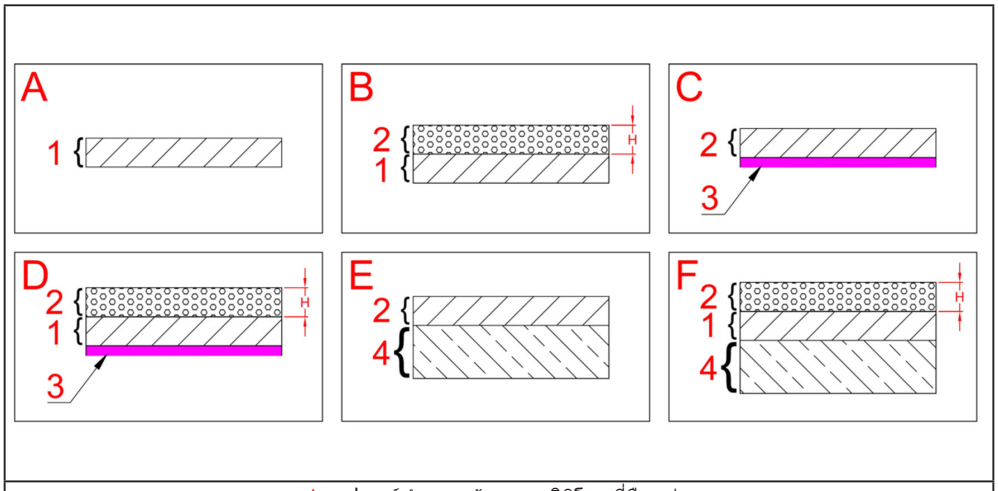
อุปกรณ์ที่ยืดหยุ่นสามารถใช้กับอุปกรณ์ที่ประกอบบนพื้นผิวเพื่อใช้ในการใช้งานที่หลากหลาย

การผสมผสานหลักคือ:

A: ไม่มีอุปกรณ์

B: ด้านหนึ่งมีโฟมฉนวนซิลิโคนที่ถูกยึดหรือถูกวัลคาไนซ์ที่ให้ฉนวนกันความร้อนไปด้านนอก

C: ด้านหนึ่งมีกาวประเภท PSA ซึ่งมักจะเป็นประเภทอะคริลิกและบางมากสำหรับการติดกาวอุปกรณ์ทำความร้อนบนผนังที่จะให้ความร้อน สามารถใช้กาวได้สูงถึง 200°C
D: ด้านหนึ่งมีกาวประเภท PSA โดยทั่วไปเป็นอะคริลิกและบางมากสำหรับการติดกาวอุปกรณ์ทำความร้อนบนผนังที่จะให้ความร้อนเนื่องจากด้านตรงข้ามติดตั้งโฟมฉนวนซิลิโคนที่ยืดหรือถูกวัลคาไนซ์ซึ่งจะให้ฉนวนกันความร้อนไปสู่ภายนอก
E: อุปกรณ์ทำความร้อนถูกติดกาวกับแผ่นโลหะนำความร้อน โซลูชั่นนี้ให้ความสมดุลของอุณหภูมิที่ดีบนพื้นผิวและช่วยให้สามารถรับภาระพื้นผิวได้สูงขึ้น
F: อุปกรณ์ทำความร้อนถูกติดกาวกับแผ่นโลหะนำความร้อน โซลูชั่นนี้ให้ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ดีบนพื้นผิวและช่วยให้สามารถรับภาระพื้นผิวได้สูงขึ้น พื้นผิวด้านนอกของตัวต้านทานได้รับโฟมซิลิโคนกันความร้อนซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความร้อน

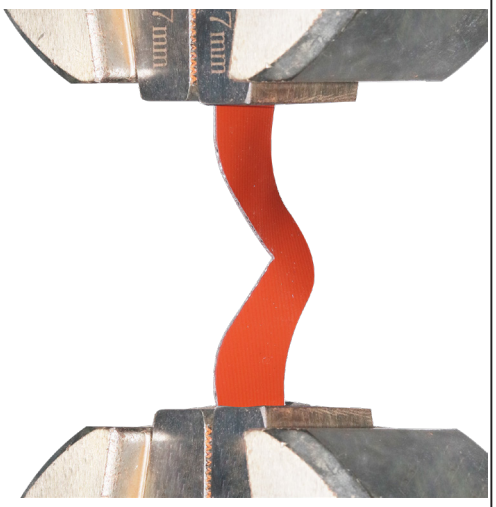


1: อุปกรณ์ทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น
2: โฟมฉนวน (NBR-PVC สำหรับอุณหภูมิต่ำกว่า 120°C โฟมซิลิโคนสำหรับอุณหภูมิสูงถึง 220°C)
3: กาวไวต่อแรงกด (PSA) ความหนาปกติ 50 ไมครอนในองค์ประกอบอะคริลิก
4: แผ่นโลหะที่นำความร้อน โดยปกติจะเป็นอลูมิเนียม

5-5 ความแข็งแรงเชิงกลของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

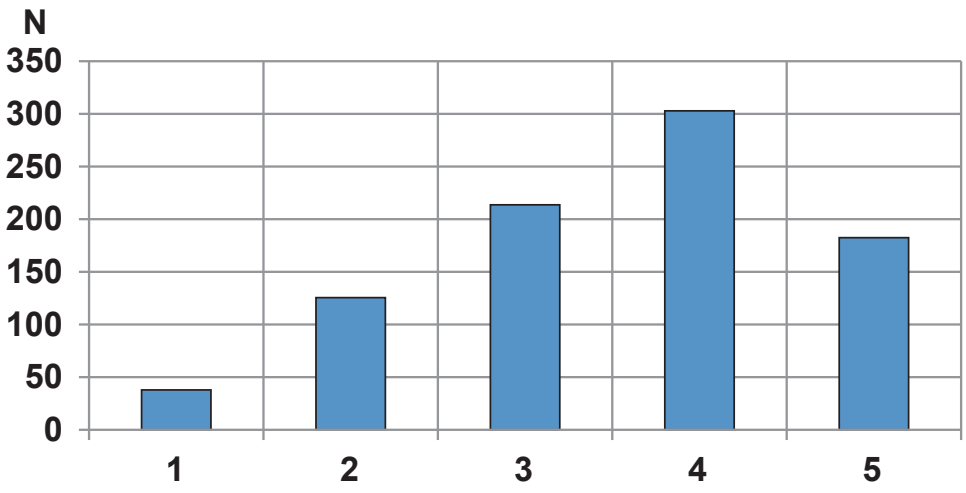
เครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนมักจะมีความเครียดทางกลระหว่างการติดตั้งหรือระหว่างการใช้งาน ในการทนต่อข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องมีโซลูชันทางเทคนิคและการทดสอบความถูกต้อง
ข้อจำกัดหลักของการใช้งานในอุตสาหกรรมมีดังนี้:
1- ความต้านทานต่อการฉีกขาดซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเมื่ออุปกรณ์ทำความร้อนถูกยืดโดยรูตามความหนา เช่น การยึดสกรู สายไฟ หมุดหรือเมื่อมีการกระแทกบนพื้นผิว
2- ความต้านทานการเคลื่อนที่ซึ่งสำคัญเมื่ออุปกรณ์ทำความร้อนถูกยืดออกอย่างถาวรด้วยสปริงบนถังทรงกระบอก ตัวอย่างเช่น ในเข็มขัดทำความร้อน
3- ความต้านทานต่อการฉีกขาดของตะขอติดตั้งบนสปริงบนเข็มขัดทำความร้อน
4- ความต้านทานแบบดึงออกของสายไฟฟ้าและลวด ค่าต่ำสุดที่กำหนดโดยมาตรฐานไฟฟ้า
5- ความต้านทานต่อการแยกของชั้นที่ถูกวัลคาไนซ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ทำความร้อนเหล่านี้
6- ความต้านทานต่อการดัดซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์ทำความร้อนสามารถถูกวางบนผนังรูปทรงกระบอก - ตัวแปรที่สำคัญของเข็มขัดและริบบิ้นทำความร้อนสำหรับการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า
7- ความต้านทานต่อการฉีกขาดของกล่องป้องกันซิลิโคนของเทอร์โมสแตท ตัวจำกัดเซนเซอร์อุณหภูมิซึ่งต้องมั่นใจได้ว่าระบบความปลอดภัยหรือระบบควบคุมอุณหภูมิยังคงทำงานได้อยู่ ดังนั้นการถอดออกจากพื้นผิวทำความร้อนจะต้องไม่เกิดขึ้น
ข้อจำกัดทั้งหมดนี้ต้องได้รับการทดสอบความถูกต้องก่อนที่อุปกรณ์จะถูกวางจำหน่ายในตลาด

ความต้านทานการฉีกขาด
การทดสอบความต้านทานการฉีกขาดนี้ทดสอบกับความหนาต่าง ๆ ของรุ่น A (1.5/1.6 มม.) B (2.2/2.5 มม.) C (2.3/2.6 มม.) และ D (3.2/3.5 มม.) บนชิ้นงานตัดด้วยเลเซอร์ตาม EN 60335-2-17§21.110.1
การทดสอบนี้ทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของการทอที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรงด้วยใยแก้ว



ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบ

อุปกรณ์ทดสอบความทนต่อการฉีกขาด

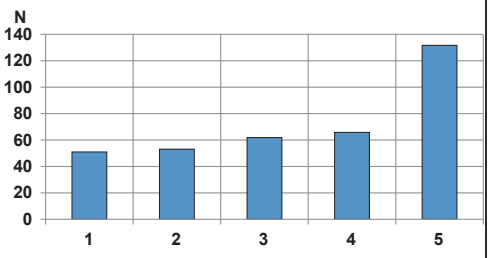


ความต้านทานการฉีกขาดแบบเปรียบเทียบของรุ่นที่มีความหนาต่าง ๆ
1 : 0.8 มม. ; 2 : 1.6 มม. ; 3 : 2.3 มม. ; 4 : 3.2 มม. ; 5 : 2.3 มม. ด้วยการเสริมตาข่ายเหล็กสแตนเลส

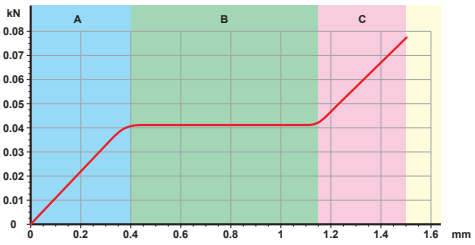
การเคลื่อนที่

ในการใช้งานที่ซึ่งเน้นใช้งานอย่างถาวร การยืดตัวของตัวต้านทานแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นอาจส่งผลให้คลายตัวและอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพื้นผิวที่ร้อน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไป เราจึงวัดแรงที่จำเป็นเพื่อยืด 1.5 มม. ใน 30 นาทีเหนือเครื่องทำความร้อนยาว 300 มม. ทั่วไปในการตั้งค่าความหนาที่แตกต่างกัน (รุ่นที่มีความหนา 1.6 มม. เป็นฐานอ้างอิง)

การทดสอบนี้ช่วยให้เราสามารถเลือกแผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้วที่ไวต่อการเคลื่อนที่น้อยลง การทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่เกือบเป็นอิสระจากจำนวนชั้นของซิลิโคนเสริมใยแก้ว แต่เหนือสิ่งอื่นใดมันขึ้นอยู่กับคุณภาพของการยึดระหว่างเรซินซิลิโคนและกรอบใยแก้ว



ความต้านทานการยืดแบบเปรียบเทียบที่ 0.05 มม./น. ของรุ่นที่มีความหนาต่าง ๆ 1 : 0.8 มม. 2 : 1.6 มม. 3 : 2.4 มม. ; 4 : 3.2 มม. 5 : 2.4 มม. ด้วยการเสริมตาข่ายเหล็กสแตนเลส



ชนิดของส่วนโค้งการเคลื่อนที่ของแผ่นใยแก้วซิลิโคนเสริมความแข็งแรง ในส่วน A การยืดเป็นสัดส่วนกับแรงที่ใช้ ในส่วนนี้ซิลิโคนถูกยืดโดยการตอบโต้ความต้านทานตามสัดส่วนกับความยืดหยุ่นของมัน ในส่วน B การยืดตัวจะเกิดขึ้นโดยไม่เพิ่มแรงดึง นี่คือสาเหตุที่ความผิดรูปของตาข่ายถักเปียใยแก้วที่แยกออกจากซิลิโคน ในส่วน C: ตาข่ายของเส้นฟุ่งไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้อีกต่อไปและความตึงจะถูกนำไปใช้โดยตรงบนเกลียวใยแก้วซึ่งจะค่อย ๆ แตก

ประเภทของตัวอย่างที่ถูกทดสอบ (350 x 35 มม.)

ตัวอย่างระหว่างการทดสอบ

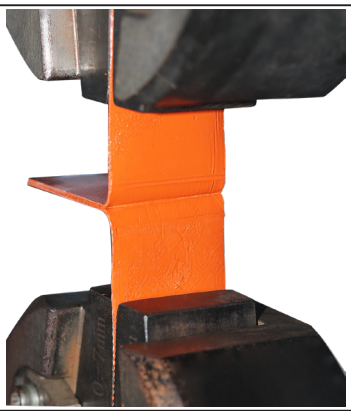
ความต้านทานต่อการฉีกขาดของตะขอเกี่ยว
หากตะขอที่ใช้ในการยึดเข็มขัดทำความร้อนหลุดออก มันจะตกจากถังที่ติดตั้งและจะทำให้เข็มขัดร้อนเกินไปและถูกทำลายทันทีซึ่งอาจทำให้เกิดไฟไหม้ได้ ด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ แรงที่จำเป็นในการดึงตะขอรองรับออกจากเข็มขัดทำความร้อนต้องมากกว่าแรงที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนรูปและยืดตะขอโลหะให้ตรงอย่างน้อย 50%

ตัวอย่างการทดสอบแรงฉีกขาด

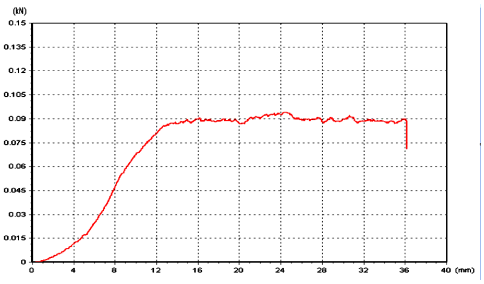
อุปกรณ์ทดสอบแรงฉีกขาด

ความต้านทานต่อการแยกของชั้นที่ถูกวัลคาไนซ์

หนึ่งในข้อบกพร่องที่สำคัญและมองไม่เห็นของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นคือวัลคาไนซ์ที่ไม่สมบูรณ์ของชั้นระหว่างที่ใส่ลวดทำความร้อน การวัลคาไนซ์ที่ไม่สมบูรณ์นี้อาจเกิดจากความดันไม่เพียงพอ อุณหภูมิไม่เพียงพอ เวลาในการบีบอัดที่สั้นเกินไป ยางซิลิโคนที่มีส่วนผสมไม่ดี หรือมีอายุการเก็บรักษาที่หมดอายุแล้ว ข้อบกพร่องนี้จะทำให้เกิดการแตกของชั้น การก่อตัวของฟองอากาศ และการพังของลวดทำความร้อนก่อนเวลาอันควร ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องสามารถวัดปริมาณการยึดเกาะนี้เพื่อปรับตัวแปรของการวัลคาไนซ์ให้เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบนี้ทำให้สามารถวัดอายุของเรซินซิลิโคนกึ่งวัลคาไนซ์ได้เนื่องจากเวลาในการเก็บรักษามีจำกัด นอกจากนี้ยังทำให้สามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอของการวัลคาไนซ์บนความยาว



ตัวอย่างที่ถูกวัลคาไนซ์ก่อนที่จะทำการทดสอบแยกชั้น



เส้นโค้งเพื่อแสดงแรงการแยกชั้นด้วยการย้ายไม่กี่ชม. สามารถสังเกตได้ว่าเมื่อคุณภาพการวัลคาไนซ์ดี (ดังที่แสดงในแผนภูมินี้) แรงแยกชั้นจะคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยแรงแยกเท่ากับ 9 เดคานิวตันสำหรับความกว้างแบนด์ 10 ชม.

ความต้านทานต่อการงอ

ในเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดัดงอเป็นตัวแปรที่ใช้ในการตรวจสอบว่าลวดทำความร้อนถูกขึ้นรูปอย่างถูกต้องและฝังอยู่ภายในแผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้วหรือไม่ การทดสอบนี้ซึ่งทำโดยใช้อุปกรณ์พิเศษทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าการพับอุปกรณ์ทำความร้อนตามรัศมีที่แม่นยำจะไม่ส่งผลให้เกิดความเครียดเชิงกลในตัวนำซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักทันทีหรือในที่สุดหลังจากการพับหลายครั้ง มันเป็นไปตามข้อกำหนด UL817 และ EN60335-1-25
การทดสอบนี้ประกอบด้วยการดัดงอแบบสลับที่ 60 รอบต่อนาทีที่ 90° (45°สำหรับ

แต่ละตำแหน่งในแนวดิ่ง) ในรัศมี 5 มม. โหลดความกว้าง 100 กรัมต่อความกว้าง 100 มม. จะถูกเพิ่มลงที่ปลายที่เป็นอิสระของอุปกรณ์ทำความร้อน เกณฑ์การยอมรับ: 500 รอบโดยไม่ทำลายลวดทำความร้อนหรือเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าได้มากกว่า 1%

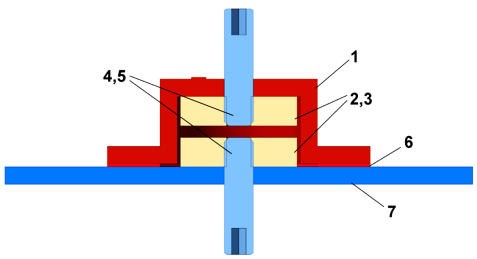
เครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นในระหว่างการทดสอบการงอ

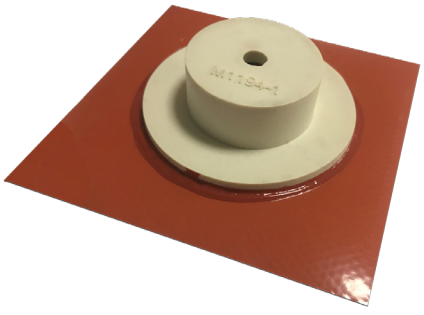
ความต้านทานแรงฉีกขาดของตัวป้องกันซิลิโคนของเทอร์โมสแตท ตัวจำกัด เซนเซอร์อุณหภูมิ

บูทและกล่องป้องกันทั้งหมดถูกวัลคาไนซ์บนแผ่นซิลิโคน ส่วนประกอบเหล่านี้ทำจากซิลิโคนกึ่งยืดหยุ่นที่มีความแข็ง 70 Shore A และมีหน้าแปลนที่มีพื้นผิวสัมผัสขนาดใหญ่สำหรับการวัลคาไนซ์ ผลที่ได้คือความต้านทานการฉีกขาดสูงกว่ารุ่นติดกาวแบบดั้งเดิมประมาณ 10 เท่า ในบางรุ่นหลังการวัลคาไนซ์จะมีการเติมสารเพิ่มเติมด้วยเรซิ่น RTV ที่มีการนำความร้อนเพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำและ/หรือการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้นกับพื้นผิวของอุปกรณ์ทำความร้อน

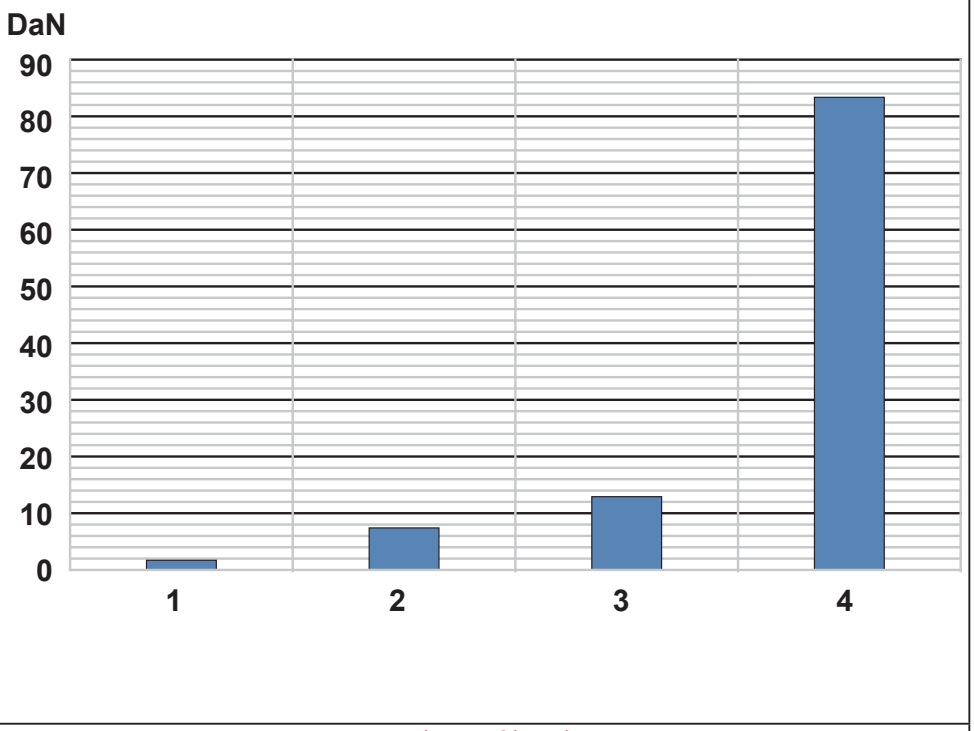
การเปรียบเทียบเทคนิคการวัลคาไนซ์และกาวที่ใช้ในการยึดติดของฝาซิลิโคนบนพื้นผิวทำความร้อนที่ยืดหยุ่น

การทดสอบเหล่านี้ทำด้วยบูททดสอบเฉพาะเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ทำซ้ำได้





อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบ (การยึดพื้นผิว: 10 ซม.²)
1: ฝาครอบทดสอบซิลิโคน 70 Shore A;
2, 3: แหวนด้านใน;
4, 5: สกรูยึด;
6: กาวที่ผ่านการทดสอบ ที่ถูกวัลคาไนซ์ หรือที่ถูกพอลิเมอไรซ์;
7: อุปกรณ์ทำความร้อนแบบซิลิโคน 10 x 10 ซม.



ค่าการฉีกขาดเปรียบเทียบ

1/- บูทที่ถูกวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 180°C ด้วยกาวซิลิโคนสององค์ประกอบ: ค่าเฉลี่ย 1.9 เดคานิวตัน
2/- บูทติดกาวด้วยเรซินซิลิโคนส่วนประกอบเดียวอุณหภูมิสูง (RTV) ที่ทำโพลีเมอไรซ์ที่อุณหภูมิห้อง: ค่าเฉลี่ย 7.6 เดคานิวตัน
3/- บูทติดกาวด้วยเรซินซิลิโคนส่วนประกอบเดียวความแข็งแกร่งสูงอุณหภูมิสูง (RTV) ที่ทำโพลีเมอไรซ์ที่อุณหภูมิห้อง: ค่าเฉลี่ย 13 เดคานิวตัน
4/- บูทที่ถูกวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิปานกลางด้วยเรซินซิลิโคนที่ใช้ในการผลิตของเรา: ค่าเฉลี่ย 84 เดคานิวตัน นี้แสดงถึงความต้านทานต่อการฉีกขาดต่อพื้นผิวที่ถูกยืดซม.^{2} 8.4เดคานิวตัน

5-6. วิธีการเชื่อมต่อสำหรับลวด สายไฟ เซนเซอร์อุณหภูมิและเทอร์โมสแตท

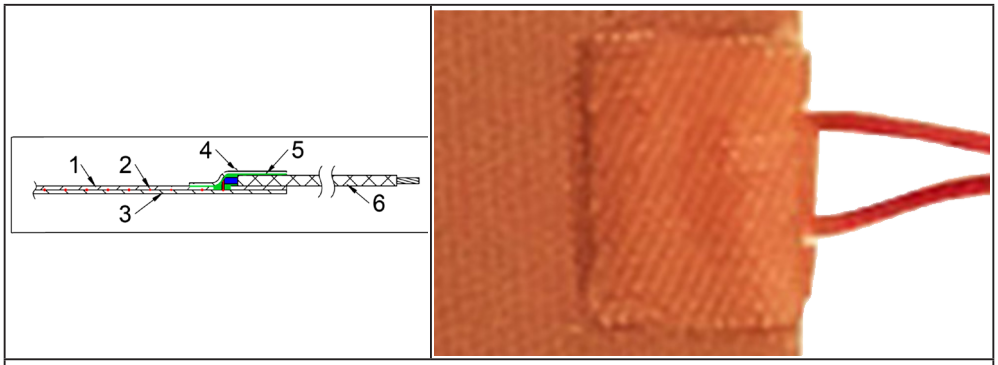
การเชื่อมต่อสายไฟสองประเภทถูกใช้ในเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น:
- การเชื่อมต่อด้วยลวดอิสระ (หนึ่งเส้นสำหรับแต่ละเฟส) ซึ่งมีไว้สำหรับเครื่องทำความร้อนที่ถูกรวมอยู่ในอุปกรณ์นั้นทำโดยผู้ผลิตอุปกรณ์นี้ มาตรวัดของตัวนำจะถูกกำหนดโดยพลังของอุปกรณ์ทำความร้อน ในรุ่นนี้ความต้านทานเชิงกลต่อการฉีกขาดได้มาจากแผ่นปะติดที่ถูกวัลคาไนซ์
- การเชื่อมต่อด้วยสายไฟที่มีตัวนำสองหรือสามตัวมักจะมีปลั๊กสำหรับอุปกรณ์ที่มีไว้สำหรับผู้ใช้ปลายทาง ในกรณีนี้ความต้านทานเชิงกลต่อการฉีกขาดได้มาจากบูทซิลิโคนที่ถูกวัลคาไนซ์และอาจเป็นระบบล็อคสายไฟโดยการหนีบเชิงกล ภายใต้สภาวะการทำงานที่สำคัญที่สุดการบูทที่ถูกวัลคาไนซ์สามารถถูกตรึงอยู่กับอุปกรณ์ทำความร้อนได้

ค่าการฉีกขาดที่สายไฟและลวดต้องได้รับเป็นไปตามข้อกำหนดของ EN60335-1-25.12:
- 3 เดคานิวตัน สำหรับอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีมวลน้อยกว่า 1 กก.
- 6 เดคานิวตัน สำหรับอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีมวล 1 ถึง 4 กก.
- 10 เดคานิวตัน สำหรับอุปกรณ์ทำความร้อนที่มีมวลมากกว่า 4 กก.

ข้อจำกัดเหล่านี้จะกำหนดการออกแบบและลักษณะของแผ่นปะและฝาครอบที่ใช้

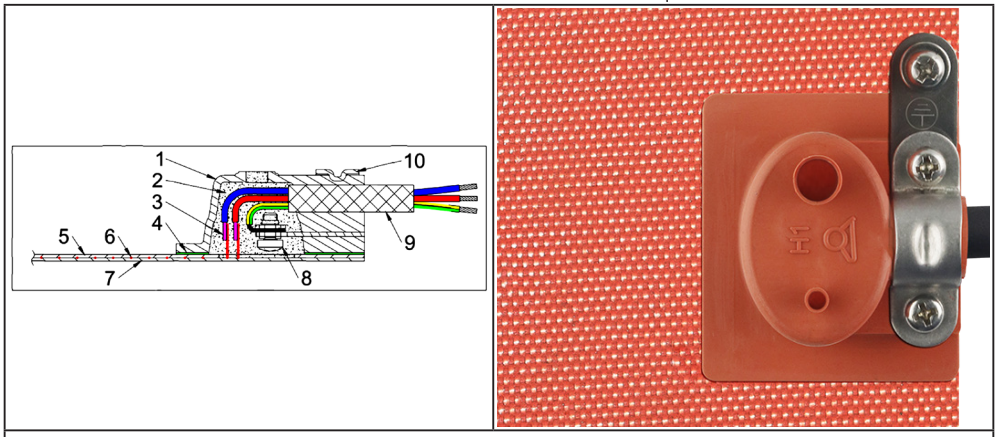
การเชื่อมต่อลวดกับเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP54)

การเชื่อมต่อนี้ซึ่งพบมากที่สุดในเครื่องทำความร้อนที่ยืดหยุ่นขนาดเล็กทำโดยแผ่นปะซิลิโคนที่ถูกวัลคาไนซ์บนบัดกรีระหว่างตัวนำไฟฟ้าและลวดทำความร้อน ซึ่งจะให้การสนับสนุนทางกลและการป้องกันฝุ่นและน้ำเข้า (IP54)



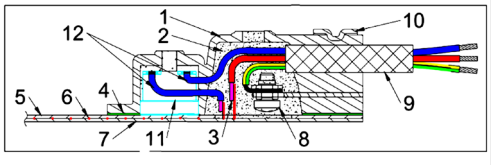
1: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
2: ลวดทำความร้อน
3: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านล่าง)
4: แผ่นปะซิลิโคนเสริมใยแก้วเอาท์เล็ตลวด
5: เรซินซิลิโคนที่ถูกวัลคาไนซ์ (สีเขียว) ติดตั้งแผ่นปะบนแผ่นซิลิโคนด้านบนและบนลวด
6: สายจ่ายไฟ

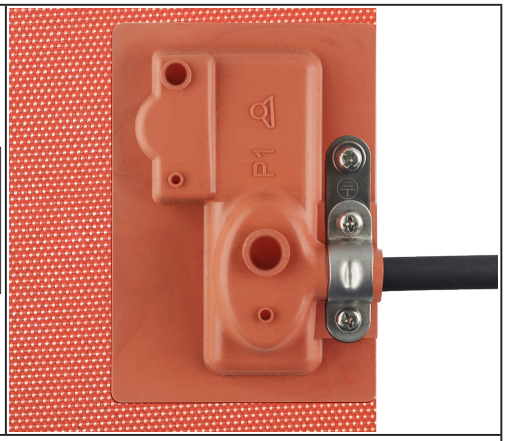
การเชื่อมต่อสายไฟบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP65)
ฝาปิดเหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อสายไฟกลมสำหรับตัวนำ 3 ตัวได้ ทำให้สามารถต่อสายดินของกำลังไฟกับขั้วภายในซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่ยืดหยุ่นกับตะแกรงโลหะ ขั้วต่อสกรูภายนอกจะถูกต่อลงดินด้วยเช่นกันเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนโลหะของถังหรือผนังร้อน การเติมบูทด้วยเรซินซิลิโคนทำให้อุปกรณ์ทนทานต่อการฉีกขาดอย่างมากและรับประกันการป้องกันน้ำและฝุ่นที่ระดับ IP65



1: บูทป้องกัน
2: การเติมเรซินซิลิโคน
3: ลวดจ่ายไฟ:
4: เรซินที่ถูกวัลคาไนซ์สำหรับยึดบูทบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน
5: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
6: ลวดทำความร้อน
7: แผ่นซิลิโคนเสริมในแก้ว (ด้านล่าง)
8: ขั้วสายดิน
9: สายจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวนำ 3 ตัว
10: ตัวยึดเหล็กสแตนเลสสำหรับสายจ่ายไฟ

การเชื่อมต่อสายไฟและตัวจำกัดอุณหภูมิบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP65)
ฝาครอบเหล่านี้ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อสายไฟกลมสำหรับตัวนำ 3 ตัวได้ อันดับแรกมันทำให้สามารถต่อสายดินของกำลังไฟกับขั้วภายในซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่ยืดหยุ่นกับตะแกรงโลหะ ขั้วต่อสกรูภายนอกจะถูกต่อลงดินด้วยเช่นกันเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนโลหะของถังหรือผนังร้อน
จากนั้นอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อตัวจำกัดอุณหภูมิทั่วไปกับอุปกรณ์ทำความร้อนได้ การเติมบูทด้วยเรซินซิลิโคนทำให้อุปกรณ์ทนทานต่อการฉีกขาดอย่างมากและรับประกันการป้องกันน้ำและฝุ่นที่ระดับ IP65

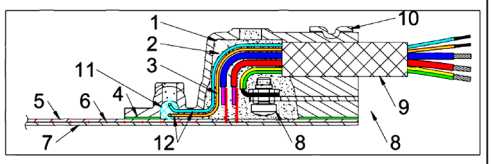


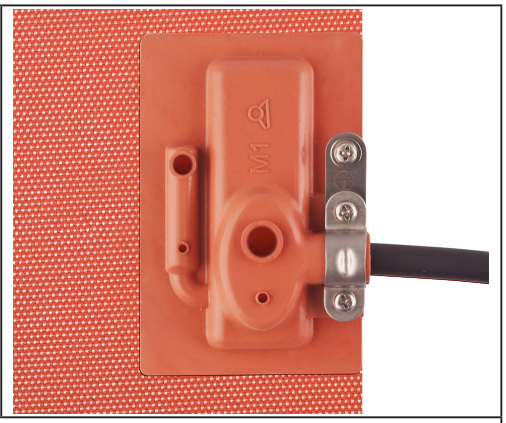


1: บูทป้องกัน
2: การเติมเรซินซิลิโคน
3: ลวดจ่ายไฟ:
4: เรซินที่ถูกวัลคาไนซ์สำหรับยึดบูทบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน
5: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
6: ลวดทำความร้อน
7: แผ่นซิลิโคนเสริมในแก้ว (ด้านล่าง)
8: ขั้วสายดิน
9: สายจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวนำ 3 ตัว
10: ตัวยึดเหล็กสแตนเลสสำหรับสายจ่ายไฟ
11: เทอร์โมสแตทโลหะคู่แบบตั้งค่าคงที่
12: ลวดเชื่อมต่อเทอร์โมสแตทโลหะคู่

การเชื่อมต่อสายไฟและเซนเซอร์อุณหภูมิบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP65)

ฝาปิดเหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อสายไฟกลมสำหรับตัวนำ 5 ตัวได้ ประการแรก อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถต่อสายดินของกำลังไฟกับขั้วภายในซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่ยืดหยุ่นกับตะแกรงโลหะ ขั้วต่อสกรูภายนอกจะถูกต่อลงดินด้วยเช่นกันเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนโลหะของถังหรือผนังร้อน ประการที่สองอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อเซนเซอร์อุณหภูมิแบบลวด 2 เส้นได้ (Pt100 NTC หรือเทอร์โมคับเปิลแบบลวด 2 เส้น) การเติมบูทด้วยเรซินซิลิโคนทำให้อุปกรณ์ทนทานต่อการฉีกขาดอย่างมากและรับประกันการป้องกันน้ำและฝุ่นที่ระดับ IP65

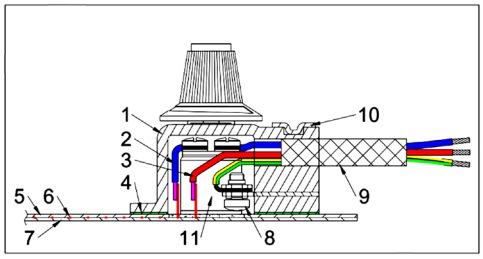


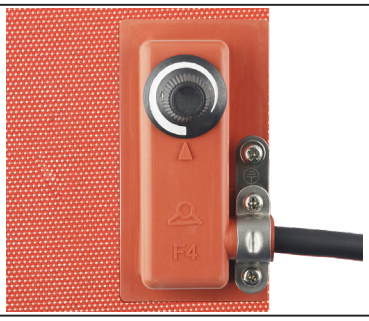


1: บูทป้องกัน
2: การเติมเรซินซิลิโคน
3: ลวดจ่ายไฟ:
4: เรซินที่ถูกวัลคาไนซ์สำหรับยึดบูทบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน
5: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
6: ลวดทำความร้อน
7: แผ่นซิลิโคนเสริมในแก้ว (ด้านล่าง)
8: ขั้วสายดิน
9: สายจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวนำ 3 ตัว
10: ตัวยึดเหล็กสแตนเลสสำหรับสายจ่ายไฟ
11: เซนเซอร์อุณหภูมิ
12: ลวดเชื่อมต่อเซนเซอร์อุณหภูมิ

การเชื่อมต่อสายไฟและเทอร์โมสแตทโลหะคู่แบบปรับได้บนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP54)

กล่องยึดหยุ่นเหล่านี้ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อสายไฟกลมสำหรับตัวนำ 3- ตัวได้ ประการแรกอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถต่อสายดินของกำลังไฟกับขั้วภายในซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่ยืดหยุ่นกับตะแกรงโลหะ ขั้วต่อสกรูภายนอกจะถูกต่อลงดินด้วยเช่นกันเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนโลหะของถังหรือผนังร้อน ประการที่สองอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อเทอร์โมสแตทโลหะคู่แบบปรับได้ที่สามารถวัดอุณหภูมิของพื้นผิวเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่สัมผัสกับมันได้ พื้นผิวยึดติดขนาดใหญ่ของกล่องทำให้อุปกรณ์มีความต้านทานอย่างมากต่อการฉีกขาด กล่องนี้รับประกันการป้องกันน้ำและฝุ่นระดับ IP54

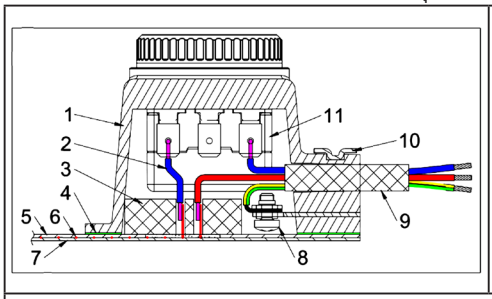




1: กล่องป้องกันที่ยืดหยุ่นและเสริมความแข็งแรง
2: ลวดเชื่อมต่อเทอร์โมสแตทกับอุปกรณ์ทำความร้อน
3: แผ่นโฟมซิลิโคนให้ฉนวนกันความร้อนระหว่างตัวเทอร์โมสแตทและอุปกรณ์ทำความร้อน
4: เรซินที่ถูกวัลคาไนซ์สำหรับยึดบูทบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน
5: แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
6: ลวดทำความร้อน
7: แผ่นซิลิโคนเสริมในแก้ว (ด้านล่าง)
8: ขั้วสายดิน
9: สายจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวนำ 3 ตัว
10: ตัวยึดเหล็กสแตนเลสสำหรับสายจ่ายไฟ
11: ตัวเทอร์โมสแตท

การเชื่อมต่อสายไฟและเทอร์โมสแตทแบบท่อแคปิลลารี่แบบปรับได้บนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น (IP54)

กล่องยึดหยุ่นเหล่านี้ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อสายไฟกลมสำหรับตัวนำ 3- ตัวได้ ประการแรกอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถต่อสายดินของกำลังไฟกับขั้วภายในซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่ยืดหยุ่นกับตะแกรงโลหะ ขั้วต่อสกรูภายนอกจะถูกต่อลงดินด้วยเช่นกันเพื่อเชื่อมต่อชิ้นส่วนโลหะของถังหรือผนังร้อน ประการที่สอง อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อเทอร์โมสแตทแบบท่อแคปิลลารี่ที่ปรับได้ แผ่นโฟมซิลิโคนปกป้องตัวเทอร์โมสแตทจากอุณหภูมิพื้นผิวที่ร้อน พื้นผิวยึดติดขนาดใหญ่ของกล่องทำให้อุปกรณ์มีความต้านทานอย่างมากต่อการฉีกขาด กล่องนี้รับประกันการป้องกันน้ำและฝุ่นระดับ IP54



1 : กล่องป้องกันที่ยืดหยุ่นและเสริมความแข็งแรง
2 : ลวดเชื่อมต่อเทอร์โมสแตทกับอุปกรณ์ทำความร้อน
3: แผ่นโฟมซิลิโคนให้ฉนวนกันความร้อนระหว่างตัวเทอร์โมสแตทและอุปกรณ์ทำความร้อน
4 : เรซินที่ถูกวัลคาไนซ์สำหรับยึดบูทบนเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน
5 : แผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ด้านบน)
6 : ลวดทำความร้อน
7 : แผ่นซิลิโคนเสริมในแก้ว (ด้านล่าง)
8 : ขั้วสายดิน
9 : สายจ่ายไฟฟ้าสำหรับตัวนำ 3 ตัว
10 : ตัวยึดเหล็กสแตนเลสสำหรับสายจ่ายไฟ
11 : ตัวเทอร์โมสแตท

5-7 ตัวแปรของฉนวนไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่น

ความต้านทานของฉนวนที่อุณหภูมิแวดล้อม
ความต้านทานของฉนวนจะลดลงตามความยาวของลวดทำความร้อนที่ใช้ หากความยาวนี้สามารถลดลงไปสักสองสามเมตรในเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนขนาดเล็ก ความยาวสามารถเกินกว่า 250 เมตรในรุ่นที่มีขนาดใหญ่ ในการผลิต ค่าฉนวนถูกวัดที่อุณหภูมิแวดล้อม 100% ขีดจำกัดการยอมรับขั้นต่ำของเราคือ 0.1 กิกะโอห์ม (100xขีดจำกัด ของ EN60335-2-17§ 19.112.3)
การวัดนี้ดำเนินการด้วยเครื่องทำความร้อนที่ถูกประกบอยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นที่ครอบคลุมพื้นผิวทั้งหมดและกดซึ่งกันและกันด้วยน้ำหนัก 35 เดคานิวตัน/ม.²

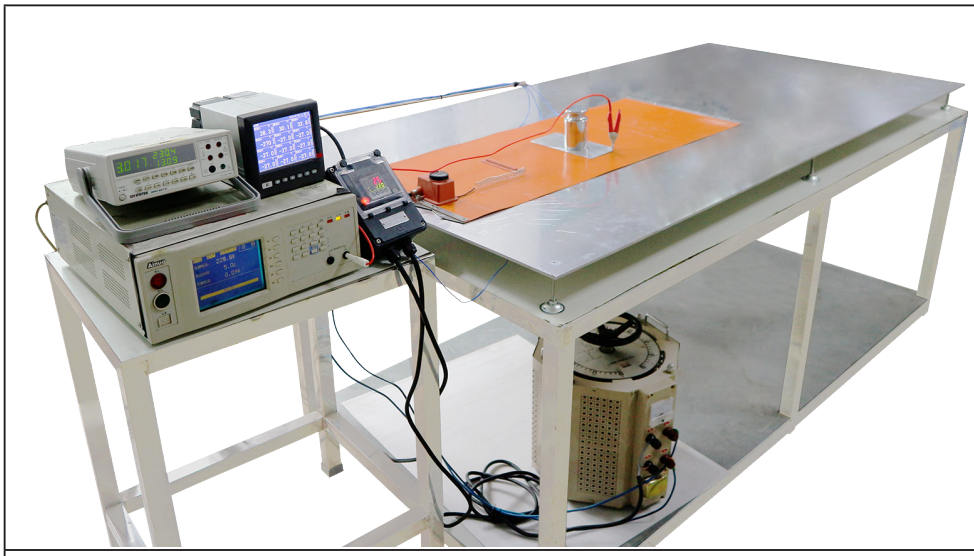
อุปกรณ์สำหรับวัดความต้านทานของฉนวน
ค่าที่วัดได้จะมากกว่า 0.1 กิกะโอห์ม เสมอ

กำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิแวดล้อม
ในองค์ประกอบทำความร้อนที่ได้รับการป้องกันทั้งหมดจะมีกระแสรั่วไหลผ่านฉนวนขององค์ประกอบเหล่านั้น กระแสรั่วไหลนี้จะเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่ใช้
ในกรณีของเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคน การทดสอบการผลิตสำหรับการวัดกระแสรั่วไหลทั้งหมด จะดำเนินการโดยวางเครื่องทำความร้อนระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นและใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 1750 โวลต์ระหว่างตัวนำและแผ่นโลหะตาม 60-335-2 -17 § 22.115 ในการใช้มาตรฐาน EN60519-1 กระแสไฟรั่วสูงสุดที่อนุญาตเป็นเวลา1 นาที เป็นฟังก์ชันของขนาดกระแสของเครื่องทำความร้อน เท่ากับ 3 มิลลิแอมแปร์ สำหรับขนาดกระแสน้อยกว่า 7 แอมแปร์ (1600 วัตต์ ใน 230 โวลต์) และ 0.5 มิมิลลิแอมแปร์ต่อแอมแปร์สำหรับกระแสที่สูงกว่า (เช่น 10 มิลลิแอมแปร์ สำหรับ 2000 วัตต์ 15 มิลลิแอมแปร์ สำหรับ 3000 วัตต์) ค่ากระแสไฟรั่วปริมาณมากบนเครื่องทำความร้อนขนาดใหญ่ต้องการการเชื่อมต่อกับวงจรแหล่งจ่ายไฟที่มีการป้องกันโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบปรับเทียบที่ 20 มิลลิแอมแปร์

เครื่องมือวัดสำหรับการรั่วไหลของกระแสรวมที่สภาวะเย็น

กระแสไฟรั่วที่อุณหภูมิขณะทำงาน

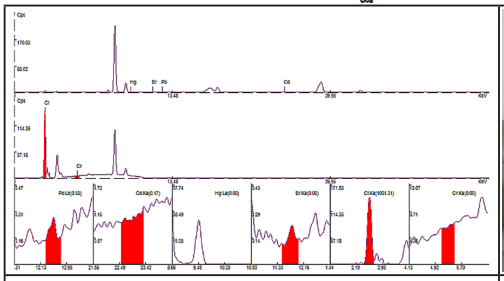
การวัดกระแสไฟรั่วบนพื้นผิวที่ร้อนและเข้าถึงได้เป็นตัวแปรที่ใช้ในการตรวจสอบความปลอดภัยของอุปกรณ์เพื่อหลีกเลี่ยงไฟฟ้าช็อตเมื่อสัมผัสขณะใช้งาน นี่เป็นวิธีการตรวจสอบว่าฉนวนไฟฟ้าไม่เสื่อมและยังคงเพียงพอเมื่อได้อุณหภูมิขณะทำงาน การทดสอบประกอบด้วยตามมาตรฐานของ EN60335-1-13.1 และ 13.2 เพื่อวางแผ่นโลหะขนาด 10 x 20 ซม. (จำลองขนาดของมือ) บนเครื่องทำความร้อนและเพื่อวัดการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างแผ่นนี้และตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าเมื่อเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนอยู่ที่อุณหภูมิสูงสุด ซึ่งสามารถสูงถึง 200°C ได้ในบางรุ่น ค่าขีดจำกัดสูงสุดคือ 0.75 มิลลิแอมแปร์ ที่ 240 โวลต์ การทดสอบของเราได้รับการตรวจสอบความถูกต้องโดยค่าเฉลี่ยจากการวัด 6 ครั้งที่ทำในสถานที่ต่าง ๆ ภายใต้พลังงานเท่ากับ 1.15 เท่าของพลังงานที่กำหนดไว้



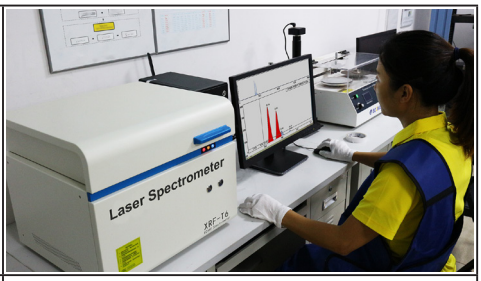
เครื่องมือวัดสำหรับการรั่วไหลของกระแสรวมทีสภาวะร้อน

5-8 การปฏิบัติตาม Rohs และ Reach

Rohs: วัสดุที่ใช้ในเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นเป็นไปตามคำสั่งของสหภาพยุโรป 2015/863 ภาคผนวกที่สอง แก้ไขคำสั่ง 2011/65
การทดสอบเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพมาตรฐานที่ Ultimheat และดำเนินการอย่างเป็นระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการส่งมอบของซัพพลายเออร์แต่ละราย
เราทำทดสอบในห้องปฏิบัติการของเราเองด้วยเครื่องมือวัดรุ่นล่าสุด
หากต้องการ เราสามารถให้ใบรับรองที่ทำโดยห้องปฏิบัติการภายนอกที่ได้รับอนุมัติ
Reach: วัสดุที่ใช้ในเครื่องทำความร้อนแบบซิลิโคนที่ยืดหยุ่นเป็นไปตามคำสั่งของยุโรป REACH ตามคำสั่งเดือนมิถุนายน 2017 ที่เพิ่มสาร 173 รายการ เป็นสาร SVHC (สารที่ควรระมัดระวังอย่างสูง) จากรายการที่เผยแพร่โดย ECHA เมื่อวันที่ 12 มกราคม 2017 ใช้กับคำสั่ง Reach 1907/2006
สามารถออกใบรับรองจาห้องปฏิบัติการภายนอกที่ได้รับการรับรองได้ตามคำขอ



สเปคโตแกรม Rohs ของแผ่นซิลิโคนเสริมใยแก้ว (ห้องปฏิบัติการ Ultimheat)



การวิเคราะห์ทางสเปคโตรเมตริกกำลังดำเนินการอยู่ (ห้องปฏิบัติการ Ultimheat)