

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 7919-1:2013**

**IEC 60216-1:2001**

Xuất bản lần 1

**VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN – ĐẶC TÍNH ĐỘ BỀN NHIỆT –  
PHẦN 1: QUI TRÌNH LÃO HÓA VÀ  
ĐÁNH GIÁ CÁC KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM**

*Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance –  
Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

HÀ NỘI – 2013

**Mục lục**

	<b>Trang</b>
Lời nói đầu .....	4
1 Phạm vi áp dụng .....	5
2 Tài liệu viện dẫn .....	5
3 Thuật ngữ, định nghĩa, ký hiệu và các từ viết tắt .....	6
4 Tóm tắt qui trình .....	10
5 Qui trình thực nghiệm chi tiết .....	11
6 Đánh giá .....	18
7 Các qui trình đơn giản hóa.....	24
Phụ lục A (tham khảo) – Độ phân tán và độ không tuyến tính .....	35
Phụ lục B (tham khảo) – Thời gian và nhiệt độ phơi nhiễm .....	37

**Lời nói đầu**

TCVN 7919-1:2013 hoàn toàn tương đương với IEC 60216-1:2001;

TCVN 7919-1:2013 do Ban kỹ thuật Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố

Bộ TCVN 7919 (IEC 60216) *Vật liệu cách điện – Đặc tính độ bền điện* gồm các phần sau:

TCVN 7919-1:2013 (IEC 60216-1:2001), Phần 1: Quy trình lão hóa và đánh giá kết quả thử nghiệm

TCVN 7919-2:2008 (IEC 60216-2:2005), Phần 2: Xác định đặc tính độ bền nhiệt của vật liệu cách điện – Chọn tiêu chí thử nghiệm

TCVN 7919-3:2013 (IEC 60216-3:2006), Phần 3: Hướng dẫn tính toán đặc trưng độ bền nhiệt

## **Vật liệu cách điện – Đặc tính độ bền nhiệt –**

### **Phần 1: Qui trình lão hóa và đánh giá các kết quả thử nghiệm**

*Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance –  
Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

#### **1 Phạm vi áp dụng**

Tiêu chuẩn này qui định các điều kiện và các qui trình lão hóa chung được sử dụng để có được các đặc tính về độ bền nhiệt và đưa ra hướng dẫn sử dụng chi tiết và các hướng dẫn trong các phần khác của bộ tiêu chuẩn này.

Tiêu chuẩn này cũng đưa ra các qui trình đơn giản hóa, với các điều kiện có thể sử dụng các qui trình này.

Mặc dù ban đầu tiêu chuẩn này được xây dựng nhằm sử dụng với vật liệu cách điện và các kết hợp đơn giản của các vật liệu này, các qui trình này được coi là có khả năng áp dụng tổng quát hơn và được sử dụng rộng rãi khi đánh giá các vật liệu không nhằm sử dụng làm cách điện.

Khi áp dụng tiêu chuẩn này, giả định rằng tồn tại một quan hệ tuyến tính thực tế giữa hàm logarit của thời gian cần thiết để tạo ra sự thay đổi đặc tính xác định trước và nghịch đảo của nhiệt độ tuyệt đối tương ứng (quan hệ Arrhenius).

Đối với ứng dụng hợp lệ của tiêu chuẩn, không có chuyển đổi mà cụ thể là không có chuyển đổi bậc một trong dải nhiệt độ đang xét .

Trong tiêu chuẩn này, thuật ngữ "vật liệu cách điện" luôn được hiểu là "vật liệu cách điện và các kết hợp đơn giản của các vật liệu này".

#### **2 Tài liệu viện dẫn**

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi.

TCVN 8095-212:2009 (IEC 60050(212):1990), *Từ vựng kỹ thuật điện quốc tế - Chương 212: Chất rắn, chất lỏng và chất khí cách điện*

## TCVN 7919-1:2013

IEC 60212:1971, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials* (Điều kiện sử dụng tiêu chuẩn trước và trong khi thử nghiệm các vật liệu cách điện rắn)

IEC 60216-2:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 2: Choice of test criteria* (Hướng dẫn xác định các đặc tính độ bền nhiệt của các vật liệu cách điện – Phần 2: Lựa chọn tiêu chí thử nghiệm)<sup>1</sup>

TCVN 7919-3 (IEC 60216-3), *Vật liệu cách điện - Đặc tính độ bền nhiệt – Phần 3: Chỉ dẫn tính toán các đặc trưng độ bền nhiệt*

IEC 60216-4-1:1990, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 4-1: Ageing ovens – Section 1: Single-chamber ovens* (Hướng dẫn xác định các đặc tính độ bền nhiệt của các vật liệu cách điện – Phần 4-1: Lò lão hóa – Mục 1: Lò một ngăn)

IEC 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results* (Hướng dẫn phân tích thống kê dữ liệu thử nghiệm lão hóa – Phần 1: Phương pháp dựa trên các giá trị trung bình các kết quả thử nghiệm theo phân bố chuẩn)

ISO 291:1997, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing* (Chất dẻo – Khí quyển tiêu chuẩn dùng cho ổn định và thử nghiệm)

ISO 2578:1993, *Plastics – Determination of time-temperature limits after prolonged exposure to heat* (Chất dẻo – Xác định các giới hạn thời gian-nhiệt độ sau khi phơi nhiễm kéo dài với nhiệt)

ISO 11346:1997, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Estimation of life-time and maximum temperature of use from an Arrhenius plot* (Cao su, lưu hóa hoặc nhựa nhiệt dẻo - Ước lượng tuổi thọ và nhiệt độ sử dụng tối đa từ đồ thị Arrhenius)

## 3 Thuật ngữ, định nghĩa, ký hiệu và các từ viết tắt

### 3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này, áp dụng các định nghĩa dưới đây.

#### 3.1.1

**Chỉ số nhiệt** (temperature index)

TI

Con số tương ứng với nhiệt độ tính bằng độ Celsius rút ra từ quan hệ độ bền nhiệt tại một thời điểm 20 000 h (hoặc thời điểm qui định khác).

[IEV 212-02-08, có sửa đổi]

<sup>1</sup> Đã có TCVN 7919-2:2008 (IEC 60216-2:2005), *Vật liệu cách điện – Đặc tính độ bền nhiệt – Phần 2: Xác định đặc tính độ bền nhiệt của vật liệu cách điện – Chọn tiêu chí thử nghiệm*.

**3.1.2****Một nửa thời gian** (halving interval)**HIC**

Con số ứng với khoảng nhiệt độ tính bằng độ Kelvin thể hiện một nửa thời gian đến điểm cuối được lấy ở nhiệt độ TI.

[IEV 212-02-10, có sửa đổi]

**3.1.3****Đồ thị độ bền nhiệt** (thermal endurance graph)

Đồ thị trong đó giá trị lôgarit theo thời gian đạt đến điểm cuối qui định trong thử nghiệm độ bền nhiệt được vẽ theo nhiệt độ thử nghiệm nhiệt động thuận nghịch (tuyệt đối).

[IEV 212-02-07]

**3.1.4****Giấy vẽ đồ thị độ bền nhiệt** (thermal endurance graph paper)

Giấy vẽ đồ thị có trục tung là thang lôgarit thời gian, có vạch chia theo lũy thừa 10 (dài thuận tiện nhất thường từ 10 h đến 100 000 h). Giá trị hoành độ tỷ lệ thuận với nghịch đảo của nhiệt độ nhiệt động (giá trị tuyệt đối). Trục hoành có vạch chia theo thang nhiệt độ (độ Celsius) không tuyến tính với giá trị nhiệt độ tăng khi đi từ trái sang phải.

**3.1.5****Dữ liệu đã sắp xếp** (ordered data)

Tập hợp dữ liệu được sắp xếp theo trình tự sao cho, khi đi theo chiều thích hợp trong dãy đó, từng thành phần trong dãy sẽ lớn hơn hoặc bằng thành phần đứng trước nó.

CHÚ THÍCH: Trong tiêu chuẩn này, thứ tự tăng dần cho biết khi dữ liệu được sắp xếp theo cách này thì thành phần thứ nhất sẽ có giá trị nhỏ nhất.

**3.1.6****Thống kê thứ tự** (order-statistics)

Từng giá trị, trong tập hợp dữ liệu được sắp xếp, được tham chiếu đến như một thống kê thứ tự bằng số thứ tự trong dãy.

**3.1.7****Dữ liệu chưa hoàn chỉnh** (incomplete data)

Dữ liệu đã được sắp xếp, trong trường hợp chưa biết các giá trị trên và dưới các điểm được xác định.

**3.1.8****Dữ liệu đã kiểm duyệt** (censored data)

Dữ liệu chưa hoàn chỉnh, trong trường hợp đã biết số lượng các giá trị chưa biết.

## **TCVN 7919-1:2013**

CHÚ THÍCH: Nếu kiểm duyệt được bắt đầu bên trên/bên dưới một giá trị qui định bằng số thì được gọi là kiểm duyệt kiểu 1. Nếu kiểm duyệt được bắt đầu bên trên/bên dưới một thống kê thứ tự qui định thì được gọi là kiểm duyệt kiểu 2. Tiêu chuẩn này chỉ quan tâm tới kiểu 2.

### **3.1.9**

#### **Bậc tự do (degrees of freedom)**

Hiệu của số các giá trị dữ liệu và số các giá trị tham số.

### **3.1.10**

#### **Phương sai của tập hợp dữ liệu (variance of a data set)**

Tổng bình phương của các độ lệch dữ liệu so với mức tham chiếu, được xác định bởi một hoặc nhiều tham số, chia cho số bậc tự do.

CHÚ THÍCH: Ví dụ mức tham chiếu có thể là một giá trị trung bình (một tham số) hoặc một dãy (hai tham số, độ dốc và độ chặn)

### **3.1.11**

#### **Hiệp phương sai của tập hợp dữ liệu (covariance of data sets)**

Đối với hai tập hợp dữ liệu có số phần tử bằng nhau mà mỗi phần tử trong tập hợp này tương ứng với một phần tử trong tập hợp kia, tổng các tích số các độ lệch của các thành phần tương ứng so với trung bình tập hợp của chúng, chia cho số bậc tự do.

### **3.1.12**

#### **Phân tích hồi qui (regression analysis)**

Quá trình tìm đường thẳng tối ưu thể hiện mối quan hệ giữa các phần tử tương ứng của hai nhóm dữ liệu bằng cách tối thiểu hóa tổng bình phương độ lệch của các phần tử của một trong hai nhóm so với đường thẳng đó.

CHÚ THÍCH: Các tham số được tham chiếu đến là các hệ số hồi quy.

### **3.1.13**

#### **Hệ số tương quan (correlation coefficient)**

Con số thể hiện tính đầy đủ của mối quan hệ giữa các phần tử của hai tập hợp dữ liệu, bằng với hiệp phương sai chia cho căn bậc hai của tích số giữa các phương sai của hai tập hợp.

CHÚ THÍCH: Giá trị bình phương của nó nằm giữa 0 (không tương quan) và 1 (tương quan hoàn toàn).

### **3.1.14**

#### **Giới hạn độ tin cậy (confidence limit)**

##### **TC**

Tham số thống kê được tính từ dữ liệu thử nghiệm có độ tin cậy tới 95 % tạo thành một giới hạn dưới của giá trị thực của chỉ số nhiệt độ được đánh giá bằng TI.

CHÚ THÍCH 1: Độ tin cậy 95 % cho biết chỉ có 5 % khả năng giá trị thực của chỉ số nhiệt độ thực sự nhỏ hơn giới hạn độ tin cậy.

CHÚ THÍCH 2: Đôi khi có thể sử dụng các giá trị độ tin cậy khác với 95 %, ví dụ: trong thử nghiệm tuyến tính đối với dữ liệu thử nghiệm phá hủy.

### 3.1.15

#### Thử nghiệm phá hủy (destructive test)

Thử nghiệm chẩn đoán đặc tính, trong đó mẫu thử bị thay đổi không thể phục hồi khi đo đặc tính, theo cách không thể thực hiện lại phép đo trên cùng một mẫu đó.

### 3.1.16

#### Thử nghiệm không phá hủy (non-destructive test)

Thử nghiệm chẩn đoán đặc tính, trong đó các đặc tính của mẫu thử không bị thay đổi vĩnh viễn khi đo sao cho có thể thực hiện thêm phép đo trên cùng mẫu thử đó sau các xử lý thích hợp.

### 3.1.17

#### Thử nghiệm kiểm chứng (proof test)

Thử nghiệm chẩn đoán đặc tính, trong đó mỗi mẫu thử, tại thời điểm kết thúc chu kỳ lão hóa, đều phải chịu ứng suất qui định, các chu kỳ lão hóa được thực hiện thêm cho đến khi mẫu bị hỏng trong thử nghiệm.

### 3.1.18

#### Nhóm nhiệt độ (của mẫu thử) (temperature group (of specimens))

Số các mẫu thử cùng chịu lão hóa nhiệt độ như nhau trong cùng một lò.

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp không khả năng gây nhầm lẫn, cả nhóm nhiệt độ và nhóm thử nghiệm có thể đơn giản được gọi là các nhóm.

### 3.1.19

#### Nhóm thử nghiệm (test group (of specimens))

Số các mẫu thử được lấy ra cùng nhau từ nhóm nhiệt độ (như trên) để thử nghiệm phá hủy.

## 3.2 Ký hiệu và thuật ngữ viết tắt

		Điều
a, b	Hệ số hồi qui	
a, b, c, d	Số lượng mẫu dùng cho thử nghiệm phá hủy .....	5.3.2.3, 7.2.3
n	Số các giá trị y.....	6.4.1
N	Tổng số các mẫu thử nghiệm .....	5.3.2.3, 7.2.3
$m_i$	Số lượng mẫu thử trong nhóm nhiệt độ thứ i (dữ liệu đã kiểm duyệt) .....	6.3.2
r	Hệ số tương quan .....	7.6.3
F	Biến số phân bố ngẫu nhiên Fisher .....	6.6.1



## TCVN 7919-1:2013

$s_y$	Căn bậc hai của trung bình bình phương độ lệch của các điểm so với đường hồi quy
$x$	Nghịch đảo nhiệt độ nhiệt động ( $1/\Theta$ )
$y$	Logarit theo thời gian đến điểm cuối
$\vartheta$	Nhiệt độ, °C
$\Theta$	Nhiệt độ nhiệt động (độ kelvin)
$\Theta_0$	Giá trị tính bằng độ kelvins ở 0 °C (273,15 K)
$\tau$	Thời gian (đến điểm cuối)
$\chi^2$	Biến số phân bố ngẫu nhiên $\chi^2$
$\mu_2$	Mômen cấp hai trung tâm của nhóm giá trị
TI	Chỉ số nhiệt độ
TC	Giới hạn dưới của độ tin cậy 95 % của TI
HIC	Một nửa thời gian ở nhiệt độ bằng với TI.
TEP	Biên dạng độ bền nhiệt
RTI	Chỉ số nhiệt độ tương đối.

## 4 Tóm tắt qui trình

### 4.1 Các qui trình đầy đủ

Qui trình chuẩn hóa để đánh giá các đặc tính nhiệt của vật liệu gồm các bước như dưới đây.

CHÚ THÍCH: Rất nên sử dụng qui trình đánh giá đầy đủ được mô tả dưới đây và trong 5.1 đến 5.8. Vì các tính toán như qui định trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) là phức tạp và dài dòng nếu được thực hiện bằng máy tính cầm tay, nên TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) cũng đưa ra một chương trình máy tính làm đơn giản hóa nhiệm vụ rất nhiều và hơn nữa còn hiển thị đồ thị độ bền nhiệt trên màn hình máy tính.

a) Chuẩn bị các mẫu thử thích hợp tương ứng với các phép đo đặc tính dự kiến (xem 5.3).

b) Cho các nhóm mẫu thử chịu lão hóa ở nhiều mức nhiệt độ được nâng cao, một cách liên tục hoặc theo chu kỳ trong một số giai đoạn mà giữa các giai đoạn này, mẫu thử thường được trở về nhiệt độ phòng hoặc các nhiệt độ tiêu chuẩn khác (xem 5.5).

c) Cho các mẫu thử chịu một qui trình chẩn đoán để đưa ra mức độ lão hóa. Các qui trình chẩn đoán có thể là việc xác định phá hủy hoặc không phá hủy của một đặc tính hoặc là các thử nghiệm kiểm chứng có khả năng phá hủy (xem 5.1 và 5.2).

d) Kéo dài việc phơi nhiễm nhiệt liên tục hoặc theo chu kỳ cho đến khi đạt đến điểm cuối qui định, nghĩa là hỏng mẫu thử hoặc đạt đến mức thay đổi qui định trong đặc tính đo được (xem 5.1, 5.2 và 5.5).

e) Báo cáo các kết quả thử nghiệm theo cách sau tùy thuộc vào loại qui trình lão hóa (liên tục hoặc có chu kỳ) và qui trình chẩn đoán (xem điểm c) ở trên): các đường cong lão hóa, thời gian hoặc số chu kỳ để đạt tới điểm cuối đối với mỗi mẫu thử.

f) Đánh giá các dữ liệu dạng số này và biểu diễn chúng dưới dạng đồ thị như giải thích trong 6.1 và 6.8.

g) Biểu diễn đầy đủ thông tin dưới dạng số viết tắt như mô tả trong 6.2 bằng chỉ số nhiệt độ và một nửa thời gian.

Qui trình đánh giá và thử nghiệm đầy đủ nêu trong các điều từ Điều 5 đến 6.8.

#### **4.2 Qui trình đánh giá bằng số và bằng đồ thị đã được đơn giản hóa**

Cũng có sẵn các qui trình đơn giản hóa mà ở đó không thử nghiệm sự phân tán dữ liệu mà chỉ đánh giá các sai lệch với đáp ứng tuyến tính. Các qui trình này được mô tả trong 7.1 đến 7.6.

Với một số hạn chế, cũng có thể đánh giá dữ liệu độ bền nhiệt dạng đồ thị. Trong trường hợp này, không thể đánh giá thống kê độ phân tán của dữ liệu, nhưng việc đánh giá sai lệch bất kỳ của dữ liệu so với mối quan hệ tuyến tính được coi là quan trọng. Các chỉ dẫn đối với các qui trình dạng đồ thị cũng được nêu trong 7.1 đến 7.6.

### **5 Qui trình thực nghiệm chi tiết**

#### **5.1 Lựa chọn qui trình thử nghiệm**

##### **5.1.1 Lưu ý chung**

Mỗi qui trình thử nghiệm cần xác định hình dạng, kích thước và số lượng mẫu thử, giá trị nhiệt độ và thời gian phơi nhiễm nhiệt, đặc tính liên quan đến chỉ số nhiệt TI, các phương pháp xác định, điểm cuối và tính toán các đặc trưng độ bền nhiệt từ dữ liệu thực nghiệm.

Các đặc tính được lựa chọn cần phản ánh, theo xu hướng đa số nếu có thể, chức năng của vật liệu trong sử dụng thực tế. Việc lựa chọn các đặc tính được nêu trong IEC 60216-2.

Để cung cấp các điều kiện thống nhất, có thể cần phải qui định việc ổn định các mẫu sau khi lấy ra khỏi lò và trước khi đo.

##### **5.1.2 Các chỉ dẫn cụ thể để xác định TI**

Nếu có sẵn các qui định kỹ thuật về vật liệu, thì qui định này thường đưa ra các yêu cầu đặc tính dưới dạng giới hạn dưới có thể chấp nhận của các giá trị TI. Nếu không có sẵn các qui định kỹ thuật về vật liệu như vậy thì việc lựa chọn các đặc tính và phương pháp để đánh giá độ bền nhiệt được nêu trong IEC 60216-2.

**5.1.3 Xác định chỉ số nhiệt TI trong các thời gian khác với 20 000 h**

Trong đa số các trường hợp, các đặc trưng độ bền nhiệt là tương ứng với khoảng thời gian dự kiến là 20 000 h. Tuy nhiên, thường cần có thông tin liên quan đến các khoảng thời gian dài hơn hoặc ngắn hơn khác. Trong trường hợp các khoảng thời gian dài hơn, thời gian đưa ra dưới dạng yêu cầu hoặc khuyến cáo trong tiêu chuẩn này (ví dụ 5 000 h đối với giá trị tối thiểu của thời gian dài nhất đến điểm cuối) phải được tăng lên theo tỷ số giữa thời gian qui định thực và 20 000 h. Theo cùng cách đó, khoảng thời gian của chu kỳ lão hóa cần thay đổi theo xấp xỉ cùng tỷ số. Ngoại suy nhiệt độ một lần nữa không được vượt quá 25 °C. Trong trường hợp khoảng thời gian qui định ngắn hơn, thời gian liên quan có thể được giảm đi theo cùng tỷ số nếu cần.

Cần đặc biệt lưu ý đối với các thời gian qui định rất ngắn do nhiệt độ lão hóa cao hơn có thể dẫn đến các vùng nhiệt độ có chứa các điểm chuyển tiếp, ví dụ nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh hoặc nóng chảy cục bộ, với hậu quả là không tuyến tính. Các thời gian qui định rất dài cũng có thể dẫn đến không tuyến tính (xem thêm Phụ lục A).

**5.2 Lựa chọn điểm cuối**

Độ bền nhiệt của vật liệu có thể cần được đặc trưng bởi các dữ liệu độ bền khác nhau (nhận được bằng cách sử dụng các đặc tính và/hoặc điểm cuối khác nhau), để tạo thuận lợi cho việc lựa chọn vật liệu thích hợp đối với ứng dụng cụ thể của nó trong hệ thống cách điện. Xem IEC 60216-2.

Có hai cách để xác định điểm cuối.

a) Dưới dạng độ tăng hoặc giảm tính bằng phần trăm giá trị đo được của đặc tính so với mức ban đầu. Cách tiếp cận này sẽ đưa ra những so sánh giữa các vật liệu nhưng có mối quan hệ với các giá trị đặc tính cần thiết ở chế độ làm việc bình thường không đầy đủ như điểm b). Để xác định giá trị ban đầu, xem 5.4.

b) Dưới dạng giá trị cố định của đặc tính. Giá trị này có thể được chọn liên quan đến các yêu cầu làm việc bình thường. Điểm cuối của thử nghiệm kiểm chứng chủ yếu được đưa ra dưới dạng các giá trị cố định của đặc tính.

Điểm cuối cần được lựa chọn để chỉ ra mức suy giảm của vật liệu cách điện mà làm giảm khả năng chịu ứng suất xuất hiện khi làm việc thực tế trong hệ thống cách điện. Mức suy giảm được chỉ thị là điểm cuối của thử nghiệm phải tương ứng với giá trị an toàn cho phép đối với đặc tính vật liệu mong muốn trong thực tiễn.

**5.3 Chuẩn bị và số lượng các mẫu thử nghiệm**

**5.3.1 Chuẩn bị**

Các mẫu thử sử dụng cho thử nghiệm lão hóa nên là mẫu ngẫu nhiên từ tập hợp các mẫu được nghiên cứu và sẽ được xử lý như nhau.

Qui định kỹ thuật về vật liệu hoặc các tiêu chuẩn về thử nghiệm sẽ nêu tất cả các chỉ dẫn cần thiết để chuẩn bị mẫu.

Chiều dày của mẫu trong một vài trường hợp được qui định trong danh sách các phép đo đặc tính để xác định độ bền nhiệt. Xem IEC 60216-2. Nếu không được qui định, chiều dày phải được ghi vào báo cáo. Một vài đặc tính vật lý nhạy ngay cả với các thay đổi nhỏ của chiều dày mẫu. Trong các trường hợp như vậy, chiều dày sau mỗi giai đoạn lão hóa có thể cần xác định và ghi lại nếu cần trong qui định kỹ thuật liên quan.

Chiều dày cũng quan trọng vì tốc độ lão hóa có thể thay đổi theo chiều dày. Dữ liệu lão hóa của vật liệu có các chiều dày khác nhau không phải lúc nào cũng có thể so sánh. Do đó, vật liệu có thể được ấn định nhiều hơn một đặc trưng độ bền nhiệt có được từ phép đo các đặc tính ở các chiều dày khác nhau.

Dung sai của kích thước mẫu cần giống với dung sai thường được sử dụng cho thử nghiệm chung; trong trường hợp kích thước mẫu cần có dung sai nhỏ hơn dung sai thường sử dụng thì nên đưa ra các dung sai đặc biệt này. Các phép đo nhanh đảm bảo rằng các mẫu thử có chất lượng đồng nhất và tiêu biểu cho vật liệu cần thử nghiệm.

Khi các điều kiện xử lý có thể ảnh hưởng đáng kể đến các đặc trưng lão hóa của một vài vật liệu, thì cần phải đảm bảo rằng việc lấy mẫu, cắt thành tám từ cuộn mẫu, cắt vật liệu không đẳng hướng theo một hướng cho trước, đúc, lưu hóa, ổn định trước, v.v... được thực hiện theo cách tương tự đối với tất cả các mẫu thử.

### 5.3.2 Số lượng mẫu thử

Độ chính xác của các kết quả thử nghiệm độ bền phụ thuộc phần lớn vào số lượng mẫu thử được lão hóa tại từng giá trị nhiệt độ. Các chỉ dẫn đối với số lượng đủ các mẫu thử được đưa ra trong TCVN 7919-2 (IEC 60216-3). Nói chung, áp dụng các chỉ dẫn dưới đây (5.3.2.1 đến 5.3.2.3), có ảnh hưởng đến qui trình thử nghiệm trong 5.8.

Trên thực tế cần chuẩn bị các mẫu thử bổ sung hoặc tối thiểu cần dự trữ mẹ vật liệu ban đầu mà từ đó có thể chuẩn bị các mẫu này khi cần. Bằng cách này, lão hóa cần thiết bất kỳ của các mẫu thử bổ sung trong trường hợp có các tình huống khó khăn không thể dự đoán sẽ giảm thiểu rủi ro sinh ra các sai lệch có tính hệ thống giữa các nhóm mẫu thử. Các tình huống khó khăn như vậy có thể phát sinh, ví dụ khi mối quan hệ của độ bền nhiệt trở nên không tuyến tính hoặc khi các mẫu thử bị hỏng do sự mất nhiệt của lò thử.

Trong trường hợp tiêu chí thử nghiệm đối với các thử nghiệm không phá hủy hoặc thử nghiệm kiểm chứng được dựa trên giá trị đặc tính ban đầu, tiêu chí này cần được xác định từ một nhóm mẫu thử gồm ít nhất hai lần số lượng mẫu thử trong mỗi nhóm nhiệt độ. Đối với thử nghiệm phá hủy xem 5.3.2.3.

**5.3.2.1 Số lượng mẫu thử đối với thử nghiệm không phá hủy**

Đối với mỗi nhiệt độ phơi nhiễm, trong hầu hết các trường hợp, sẽ thích hợp nếu mỗi nhóm có năm mẫu thử. Tuy nhiên, xem TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) để có chỉ dẫn thêm.

**5.3.2.2 Số lượng mẫu thử đối với thử nghiệm kiểm chứng**

Trong hầu hết các trường hợp, yêu cầu mỗi nhóm có tối thiểu 11 mẫu thử cho mỗi nhiệt độ phơi nhiễm. Để có được đồ thị và trong một vài trường hợp khác việc xử lý dữ liệu có thể đơn giản hơn nếu số lượng mẫu thử trong mỗi nhóm là lẻ. Xem TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) để có chỉ dẫn thêm.

**5.3.2.3 Số lượng mẫu thử đối với các thử nghiệm phá hủy**

Số lượng mẫu thử  $N$  này có được từ công thức:  $N = a \times b \times c + d$

trong đó:

- a* là số lượng mẫu thử trong một nhóm thử nghiệm đang thực hiện xử lý đồng nhất tại một nhiệt độ và bị loại bỏ sau khi xác định đặc tính (thường là năm mẫu);
- b* là số lần xử lý, nghĩa là tổng số lần phơi nhiễm ở một nhiệt độ;
- c* là số lượng các mức nhiệt độ lão hóa;
- d* là số lượng mẫu thử trong một nhóm được sử dụng để thiết lập giá trị đặc tính ban đầu. Trên thực tế nên chọn  $d = 2a$  khi tiêu chí chẩn đoán là phần trăm thay đổi của đặc tính so với mức ban đầu. Khi tiêu chí là một mức tuyệt đối của đặc tính,  $d$  thường có giá trị bằng zero trừ khi có yêu cầu ghi lại giá trị ban đầu.

**5.4 Thiết lập giá trị đặc tính ban đầu**

Chọn các mẫu thử để xác định giá trị đặc tính ban đầu để tạo thành một tập hợp con một cách ngẫu nhiên gồm các mẫu chuẩn bị cho lão hóa. Trước khi xác định giá trị đặc tính, các mẫu thử này phải được ổn định bằng cách cho phơi nhiễm với mức nhiệt độ lão hóa thấp nhất của thử nghiệm (xem 5.5) trong hai ngày ( $48 \text{ h} \pm 6 \text{ h}$ ).

**CHÚ THÍCH:** Trong một vài trường hợp (ví dụ với các mẫu thử rất dày), có thể cần nhiều hơn hai ngày để thiết lập giá trị ổn định.

Nếu không có qui định khác trong phương pháp xác định đặc tính chẩn đoán (ví dụ các phần của đặc tính kỹ thuật của vật liệu liên quan đến các phương pháp thử nghiệm hoặc phương pháp được liệt kê trong IEC 60216-2), giá trị ban đầu là trung bình toán học của các kết quả thử nghiệm.

### 5.5 Nhiệt độ và thời gian phơi nhiễm

Để xác định TI, các mẫu thử cần được phơi nhiễm không ít hơn ba, tốt nhất tối thiểu là bốn, giá trị nhiệt độ bao trùm một dải thích hợp để chứng tỏ quan hệ tuyến tính giữa thời gian đến điểm cuối và nghịch đảo của nhiệt độ nhiệt động (giá trị tuyệt đối).

Để giảm độ không đảm bảo trong tính toán các đặc trưng độ bền nhiệt thích hợp, dải nhiệt độ tổng thể của phơi nhiễm nhiệt cần được lựa chọn cẩn thận, tuân thủ các yêu cầu sau:

- nhiệt độ phơi nhiễm thấp nhất phải là nhiệt độ tạo ra giá trị trung bình của thời gian đến điểm cuối không lớn hơn 5 000 h khi xác định TI (xem thêm 5.1.3);
- ngoại suy cần thiết để thiết lập giá trị TI không được lớn hơn hơn 25 °C;
- nhiệt độ phơi nhiễm cao nhất phải là nhiệt độ trung bình của thời gian đến điểm cuối không lớn hơn 100 h (ít hơn 500 h nếu có thể thể).

CHÚ THÍCH: Đối với một số vật liệu, có thể không đạt được thời gian đến điểm cuối nhỏ hơn 500 h khi duy trì mức tuyến tính thỏa đáng. Tuy nhiên, quan trọng là dải nhỏ hơn của giá trị trung bình của thời gian đến điểm cuối sẽ dẫn đến một khoảng tin cậy lớn hơn của kết quả đối với cùng độ phân tán dữ liệu.

Các chỉ dẫn liên quan và chi tiết về cách thức tiến hành sử dụng tiêu chí thử nghiệm không phá hủy, kiểm chứng hoặc phá hủy được đưa ra trong 5.8.

Bảng 1 đưa ra hướng dẫn thực hiện các lựa chọn ban đầu.

Một số khuyến cáo và gợi ý hữu ích trong việc thiết lập thời gian và nhiệt độ được cho trong Phụ lục B.

### 5.6 Lò lão hóa

Trong suốt giai đoạn lão hóa nhiệt, lò lão hóa phải duy trì, trong phần không gian làm việc nơi đặt các mẫu thử, một nhiệt độ với dung sai như cho trong IEC 60216-4. Nếu không có qui định khác, áp dụng IEC 60216-4-1.

Sự lưu thông không khí trong lò và sự trao đổi không khí cần thích hợp để đảm bảo tốc độ suy giảm nhiệt không bị ảnh hưởng do tích tụ các sản phẩm phân hủy hoặc do thiếu oxy (xem 5.7).

### 5.7 Điều kiện môi trường

Ảnh hưởng của các điều kiện môi trường đặc biệt như độ ẩm cực đại, nhiễm bẩn về hóa hoặc rung trong nhiều trường hợp có thể được đánh giá một cách thích hợp hơn nhờ thử nghiệm các hệ thống cách điện. Tuy nhiên, việc ổn định môi trường, ảnh hưởng của khí quyển không phải là không khí và việc ngâm trong chất lỏng ví dụ như dầu có thể là quan trọng nhưng những yếu tố này không được đề cập trong tiêu chuẩn này.

### **5.7.1 Điều kiện khí quyển trong quá trình lão hóa**

Nếu không có qui định khác, lão hóa phải được thực hiện trong các lò vận hành trong khí quyển bình thường của phòng thí nghiệm. Tuy nhiên đối với một vài vật liệu rất nhạy cảm với độ ẩm trong lò, các kết quả tin cậy hơn đạt được khi độ ẩm tuyệt đối trong lò lão hóa được khống chế và bằng với giá trị độ ẩm tuyệt đối ứng với khí quyển chuẩn B theo IEC 60212. Điều này hoặc các điều kiện qui định khác phải được ghi vào báo cáo.

### **5.7.2 Điều kiện để đo đặc tính**

Nếu không có qui định khác, các mẫu thử phải được ổn định trước khi đo và được đo trong các điều kiện như qui định trong qui định kỹ thuật tiêu chuẩn của vật liệu.

## **5.8 Qui trình lão hóa**

Điều này liên quan đến các qui trình cơ bản để sử dụng:

- a) thử nghiệm không phá hủy;
- b) thử nghiệm kiểm chứng;
- c) thử nghiệm phá hủy.

Chuẩn bị số lượng mẫu thử như chỉ dẫn trong 5.3. Nếu cần, xác định giá trị đặc tính ban đầu như qui định trong 5.4. Chia mẫu thử bằng cách lựa chọn ngẫu nhiên thành các nhóm theo các nhiệt độ phơi nhiễm.

Thiết lập nhiệt độ và thời gian phơi nhiễm theo chỉ dẫn của 5.5 (xem thêm Phụ lục B).

Đặt một nhóm cần phơi nhiễm nhiệt vào từng lò phù hợp với 5.6, nhiệt độ lò được duy trì càng sát càng tốt với nhiệt độ đã lựa chọn từ Bảng 1.

CHÚ THÍCH 1: Từng mẫu thử cần được nhận biết nhằm dễ dàng cho việc đưa chúng trở về đúng lò lão hóa sau mỗi lần thử.

CHÚ THÍCH 2: Cần lưu ý đến các khuyến cáo trong 5.3 để chuẩn bị thêm một nhóm các mẫu dự phòng cho mục đích nêu trong Phụ lục B, cụ thể là sẽ có thể sớm bắt đầu lão hóa các mẫu mới ở mức nhiệt độ bổ sung.

### **5.8.1 Qui trình sử dụng thử nghiệm không phá hủy**

Tại thời điểm cuối mỗi chu kỳ, gỡ bỏ nhóm mẫu thử khỏi lò tương ứng và để nguội về nhiệt độ phòng nếu không có qui định khác (xem 5.7). Một vài đặc tính thử nghiệm có thể yêu cầu đo ở nhiệt độ lò, trong trường hợp này phải lão hóa liên tục.

Áp dụng thử nghiệm thích hợp cho mỗi mẫu thử và sau đó trả nhóm đó về lò mà chúng đã lão hóa, ở nhiệt độ tương tự như trước, và cho phơi nhiễm thêm một chu kỳ nữa. Tiếp tục các chu kỳ phơi nhiễm

nhiệt độ, để nguội và chịu thử nghiệm cho đến khi giá trị trung bình đo được đối với các mẫu thử trong nhóm đạt đến điểm cuối qui định với điều kiện có ít nhất một điểm vượt qua điểm cuối.

Đánh giá các kết quả như liệt kê trong 6.1 và chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) và báo cáo kết quả như qui định trong 6.8.

### **5.8.2 Qui trình sử dụng thử nghiệm kiểm chứng**

Các mẫu để thử nghiệm theo qui trình thử nghiệm kiểm chứng phải được lấy ra ngẫu nhiên từ các mẫu đã qua thử nghiệm kiểm chứng.

Tại cuối mỗi chu kỳ, gỡ bỏ tất cả các mẫu thử khỏi lò. Sau mỗi lần gỡ bỏ, cho các mẫu để nguội về nhiệt độ phòng và sau đó cho từng mẫu chịu thử nghiệm kiểm chứng qui định. Trả các mẫu thử đã qua thử nghiệm kiểm chứng về lò đã lấy chúng ra, ở nhiệt độ tương tự như trước, và cho phơi nhiễm thêm một chu kỳ nữa.

Tiếp tục các chu kỳ phơi nhiễm nhiệt độ, để nguội và chịu thử nghiệm kiểm chứng cho đến khi hồng số lượng trung bình các mẫu  $(m+1)/2$  nếu số mẫu thử ( $m$ ) là lẻ hoặc là  $(m/2+1)$  nếu số mẫu thử là chẵn. Nếu các kết quả cho thấy rằng thời gian đến điểm cuối này có nhiều khả năng đạt được trong khoảng 10 lần phơi nhiễm thì không cần phải thay đổi thời gian phơi nhiễm được lựa chọn ban đầu. Nếu kết quả không cho thấy như vậy thì thời gian phơi nhiễm có thể thay đổi sao cho kết quả trung bình có thể có được sau ít nhất bảy chu kỳ (tốt nhất là khoảng 10), với điều kiện là thay đổi này được thực hiện trước chu kỳ thứ tư.

Các chu kỳ phơi nhiễm nhiệt độ có thể được tiếp tục cho đến khi tất cả các mẫu thử bị hồng, để có thể thực hiện một phân tích thống kê đầy đủ hơn (xem TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

Đánh giá các kết quả như liệt kê trong 6.1 và chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) và báo cáo như qui định trong 6.8.

### **5.8.3 Qui trình sử dụng thử nghiệm phá hủy**

Đối với mỗi lò thử nghiệm, lựa chọn ngẫu nhiên một nhóm thử nghiệm gồm số lượng mẫu thử được ấn định (=  $a$ , xem 7.2.3) và lấy chúng ra khỏi lò sau các khoảng thời gian được chọn theo cách sao cho các thời gian phơi nhiễm tạo thành một trình tự thích hợp. Xem 5.5, Phụ lục B và Bảng 1.

Sau mỗi lần lấy mẫu ra, nhóm các mẫu được để nguội về nhiệt độ phòng trừ khi có qui định khác. Đối với các vật liệu mà các đặc tính dự kiến có thay đổi đáng kể theo nhiệt độ hoặc độ ẩm, nếu không có qui định khác, ổn định các mẫu qua một đêm ở khí quyển tiêu chuẩn B của IEC 60212. Thử nghiệm các mẫu và vẽ các kết quả và trung bình số học các kết quả (hoặc biến đổi thích hợp từ các kết quả đó) theo logarit của thời gian phơi nhiễm như nêu trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

Đánh giá các kết quả như liệt kê trong 6.1 và chi tiết ở Điều 6 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) và báo cáo như qui định trong 6.8.



## 6 Đánh giá

### 6.1 Phân tích dữ liệu thử nghiệm dạng số

Qui trình tính toán số học cho việc phân tích dữ liệu đầy đủ được qui định trong 6.3 đến 6.7. Có thể có một qui trình đơn giản hóa (7.1 đến 7.6) nhưng sẽ dẫn đến một kết quả không có cùng độ tin cậy thống kê. Qui trình đơn giản hóa chỉ nên được sử dụng trong trường hợp có một kỳ vọng có cơ sở rằng độ phân tán của các dữ liệu thử nghiệm là đủ nhỏ trong một khoảng tin cậy thỏa đáng của chỉ số nhiệt độ cần đạt được (ví dụ từ kinh nghiệm liên quan trước đó).

Phân tích dữ liệu TI dựa trên giả định là có một quan hệ tuyến tính giữa logarit của thời gian đến điểm cuối và nghịch đảo của nhiệt độ lão hóa nhiệt động.

Phương pháp ưu tiên để đánh giá các kết quả TI là nhờ qui trình bằng số được chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) cùng với thể hiện dạng đồ thị như trên Hình 4. Tuy nhiên, đánh giá bằng đồ thị được sử dụng khi các yêu cầu về thống kê không được thỏa mãn hoặc khi muốn thực hiện vì một số lý do khác. Trong trường hợp này, các kết quả phải được vẽ đồ thị sử dụng các giá trị nhiệt độ trung bình đo được trong các lò (xem thêm Phụ lục A).

### 6.2 Các đặc trưng và định dạng độ bền nhiệt

Các đặc trưng độ bền nhiệt gồm

- chỉ số nhiệt độ, TI,
- một nửa thời gian, HIC

(xem 6.7).

Độ bền nhiệt của vật liệu cách điện thường được cho trước đối với một đặc tính và điểm cuối cụ thể. Nếu không quan tâm đến điều này thì tham chiếu bất kỳ đến các đặc tính độ bền nhiệt không có ý nghĩa vì không phải tất cả các đặc tính của vật liệu chịu lão hóa nhiệt đều xấu đi theo cùng một mức độ. Do đó, một vật liệu có thể được ấn định nhiều hơn một chỉ số nhiệt độ hoặc một nửa thời gian có được, ví dụ, từ phép đo các đặc tính khác nhau.

Trường hợp thu được kết quả theo phương pháp số và đáp ứng các điều kiện thống kê liên quan đến độ tuyến tính và phân tán, định dạng là:

TI (HIC):        giá trị TI (giá trị HIC),

ví dụ,            TI (HIC): 152 (9,0).

Giá trị TI phải được biểu diễn là một số nguyên gần nhất và giá trị HIC đến một số sau dấu thập phân.

Trong trường hợp thu được kết quả là một đồ thị hoặc không đáp ứng các điều kiện thống kê, định dạng là:

$TI_g$  = giá trị TI,  $HIC_g$  = giá trị HIC

ví dụ,  $TI_g = 152$ ,  $HIC_g = 9,0$ .

Nếu sử dụng thời gian khác với 20 000 h để thu được giá trị TI thì phải nêu thời gian liên quan tính bằng kh, tiếp theo là chữ kh. Định dạng của TI khi đó là:

TI thời gian tính bằng kh (HIC): giá trị TI (giá trị HIC)

ví dụ, TI 40 kh (HIC): 131(10,0),

và tương ứng đối với  $TI_g$

ví dụ,  $TI_g$  40 kh = 131,  $HIC_g = 10,0$ .

Trong trường hợp thu được kết quả nhờ qui trình đơn giản hóa (xem 7.6), định dạng là:

$TI_s =$  giá trị TI,  $HIC_s =$  giá trị HIC

ví dụ,  $TI_s = 152$ ,  $HIC_s = 9,0$ .

### 6.3 Thời gian đến điểm cuối, các giá trị x và y

Đối với mỗi nhóm nhiệt độ, giá trị x phải được tính bằng cách sử dụng công thức:

$$x = 1/(\vartheta + \Theta_0) \quad (1)$$

trong đó  $\vartheta$  là nhiệt độ lão hóa tính bằng độ Celsius,  $\Theta_0 = 273,15$  K.

#### 6.3.1 Thử nghiệm không phá hủy

Trong mỗi nhóm nhiệt độ của mẫu thử, thu được giá trị đặc tính sau từng giai đoạn lão hóa đối với từng mẫu thử. Từ các giá trị này, nếu cần bằng cách nội suy (xem Hình 1) có thời gian đến điểm cuối và tính logarit của nó là giá trị y được sử dụng trong 6.4.

#### 6.3.2 Thử nghiệm kiểm chứng

Đối với mỗi mẫu thử trong mỗi nhóm nhiệt độ, tính thời gian đến điểm giữa của giai đoạn lão hóa, ngay trước khi đạt tới điểm cuối và lấy logarit của thời gian này là giá trị của y.

Thời gian đến điểm cuối trong giai đoạn lão hóa đầu tiên phải được coi là không hợp lệ. Trong trường hợp này

a) bắt đầu lại với nhóm mẫu mới, hoặc

b) bỏ qua mẫu thử và giảm giá trị gán cho số lượng mẫu ( $m_i$ ) trong nhóm thứ  $i$  đi một mẫu.

Nếu nhiều hơn một mẫu đạt đến điểm cuối trong giai đoạn đầu tiên, loại bỏ nhóm này và thử nghiệm thêm nhóm khác, đặc biệt chú ý đến các điểm tới hạn bất kỳ của qui trình thực nghiệm.

### 6.3.3 Thử nghiệm phá hủy

Vì từng mẫu sẽ bị phá hủy khi thực hiện phép đo đặc tính liên quan nên có thể không đo được trực tiếp thời gian đến điểm cuối của mẫu thử bất kỳ. Thời gian đến điểm cuối giả định được tính toán khi sử dụng qui trình toán học được mô tả chi tiết trong 6.1.4 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

Qui trình này dựa trên giả thiết rằng tốc độ lão hóa của tất cả các mẫu thử được lão hóa ở cùng nhiệt độ là như nhau và do đó có thể được xác định từ tốc độ lão hóa của đặc tính nghĩa là của các nhóm cần thử nghiệm kế tiếp. Chọn vùng lão hóa gần tuyến tính trên đồ thị lão hóa (Hình 2) và một đường thẳng song song với đồ thị lão hóa trung bình được vẽ qua mỗi điểm (thời gian, đặc tính). Phần bị chặn của đường này và đường điểm cuối cho giá trị logarit của thời gian đến điểm cuối cần thiết (xem Hình 3).

CHÚ THÍCH: Đồ thị lão hóa được hình thành bằng cách vẽ giá trị đặc tính hoặc dạng biến đổi thích hợp của nó theo logarit của thời gian phơi nhiễm. Cần đảm bảo rằng vùng bị chặn của đường hồi qui với trục thời gian sẽ đưa ra giá trị tương đương với trung bình các vùng bị chặn của các đường riêng rẽ.

Qui trình được thực hiện ở dạng số và đưa ra các thử nghiệm thống kê thích hợp. Các giá trị  $y$  có được được sử dụng trong các tính toán của 6.4 (xem 6.1.4 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

## 6.4 Trung bình và phương sai

### 6.4.1 Dữ liệu hoàn chỉnh

Đối với các thử nghiệm không phá hủy và thử nghiệm kiểm chứng trong trường hợp đã biết thời gian đến điểm cuối đối với tất cả các mẫu thử trong nhóm nhiệt độ, giá trị trung bình  $\bar{y}$  và sai lệch  $s^2$  của các giá trị  $y$  phải được tính bằng các công thức:

$$\bar{y} = \sum y / n \quad (2)$$

$$s^2 = \frac{|\sum y^2 - (\sum y)^2 / n|}{(n-1)} \quad (3)$$

trong đó  $n$  là số các giá trị  $y$  trong nhóm.

Đối với các thử nghiệm phá hủy, sử dụng cùng một qui trình, được áp dụng cho các giá trị giả định của  $y$  thu được trong 6.3.

### 6.4.2 Dữ liệu chưa hoàn chỉnh (đã kiểm duyệt)

Đối với các thử nghiệm không phá hủy và thử nghiệm kiểm chứng trong trường hợp lão hóa kết thúc trước khi tất cả các mẫu trong nhóm đạt đến điểm cuối, ước lượng trung bình và phương sai phải được tính theo 6.2.1.2 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

## 6.5 Trung bình, phương sai chung và phân tích hồi quy

Trung bình theo trọng số và phương sai của các giá trị  $y$  và trung bình theo trọng số và mômen thứ cấp trung tâm của các giá trị  $x$  phải được tính như trong 6.2.2 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

Phân tích hồi qui đối với độ dốc và vùng chặn của đồ thị độ bền nhiệt và các thử nghiệm độ lệch so với đường tuyến tính phải như trong 6.2.3 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

## 6.6 Thử nghiệm thống kê và yêu cầu về dữ liệu

Các thử nghiệm thống kê dưới đây được qui định đầy đủ trong 6.3 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) và được tóm tắt trong Phụ lục A và Phụ lục B của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3). Các thử nghiệm này đã được thiết kế để thử tất cả các khía cạnh quan trọng của dữ liệu mà có thể làm mất hiệu lực các kết quả có được của các đặc trưng độ bền nhiệt, cũng như quyết định xem việc không đáp ứng các yêu cầu thống kê có ý nghĩa thực tiễn hay không.

### 6.6.1 Dữ liệu của tất cả các kiểu

Trước khi áp dụng các thử nghiệm thống kê, dữ liệu cần thỏa mãn các yêu cầu dưới đây.

a) Giá trị trung bình của thời gian đến điểm cuối ở nhiệt độ thử nghiệm thấp nhất không được nhỏ hơn 5 000 h (hoặc là  $\tau/4$  khi  $\tau$  khác với 20 000 h được qui định cho chỉ số nhiệt độ).

b) Chênh lệch giữa chỉ số nhiệt và giá trị nhiệt độ thử nghiệm thấp nhất không được lớn hơn 25 K.

Nếu một trong các điều kiện này không được đáp ứng, không thể ghi lại giá trị TI. Để thực hiện các tính toán hợp lệ, phải thực hiện lão hóa thêm cho một hoặc nhiều nhóm các mẫu thử ở cùng một nhiệt độ thấp hơn này vì sẽ cho phép đáp ứng các điều kiện.

Trong trường hợp một tập hợp các dữ liệu là thỏa đáng với các yêu cầu trên, yêu cầu thống kê là độ chênh lệch (TI-TC) giữa chỉ số nhiệt độ (TI) và giới hạn độ tin cậy thấp hơn 95 % (TC) không lớn hơn 0,6 HIC. Chênh lệch này phụ thuộc vào sự phân tán của các điểm dữ liệu, sai lệch so với độ tuyến tính trong phân tích hồi qui, số lượng các điểm dữ liệu và mức độ ngoại suy.

Các qui trình tính toán tổng quát đưa ra ở đây và được nêu chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3) dựa trên các nguyên tắc được trình bày trong IEC 60493-1. Các nguyên tắc này có thể được thể hiện một cách ngắn gọn như dưới đây (xem 3.7.1 của IEC 60493-1).

1) Mỗi quan hệ giữa trung bình các logarit của thời gian để đạt được điểm cuối qui định (thời gian đến điểm cuối) và nghịch đảo của nhiệt độ nhiệt động (giá trị tuyệt đối) là tuyến tính.

2) Các giá trị sai lệch của các logarit của thời gian đến điểm cuối so với quan hệ tuyến tính là phân bố chuẩn, với phương sai độc lập với nhiệt độ lão hóa.

Giả thiết đầu tiên được thử bằng thử nghiệm Fisher. Trong thử nghiệm này, tham số thử nghiệm  $F$  được tính từ dữ liệu thực nghiệm và so sánh với giá trị  $F_0$  được lập bảng. Nếu  $F < F_0$  thì giả thiết về

## TCVN 7919-1:2013

tính tuyến tính được chấp nhận và tiếp tục thực hiện tính toán. Nếu không, giả thiết nên bị loại bỏ, nhưng vì trong các trường hợp đặc biệt, có thể phát hiện tính không tuyến tính có ý nghĩa thống kê mà tầm quan trọng trong thực tiễn là nhỏ, nên các tính toán này có thể tiếp tục, trong các điều kiện qui định, theo cách được sửa đổi (xem chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

$F_0$  được chọn sao cho thử nghiệm được thực hiện ở mức ý nghĩa 0,05, điều đó có nghĩa là xác suất loại bỏ giả thiết là 5 %, ngay cả nếu đúng (và xác suất chấp nhận là 95 % khi đúng).

Giả thiết thứ hai được thực hiện theo thử nghiệm  $\chi^2$  của Bartlett. Tham số thử nghiệm  $\chi^2$  được tính từ dữ liệu và được so sánh với các giá trị dạng bảng của  $\chi^2$ . Nếu tham số thử nghiệm  $\chi^2$  lớn hơn giá trị trong bảng đối với mức ý nghĩa 0,05 thì các giá trị  $\chi^2$  và xác suất P tương ứng từ bảng phải được ghi vào báo cáo.

Trong trường hợp thử nghiệm phá hủy (6.3.3), tính tuyến tính của các giá trị đặc tính như là một hàm của thời gian trong vùng lân cận điểm cuối cũng được thử nghiệm bằng thử nghiệm F (xem 6.1.4.4 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

Khi độ phân tán của dữ liệu sao cho giá trị  $(T_I - T_C)$  nằm giữa 0,6 HIC và 1,6 HIC, vẫn có thể báo cáo giá trị được điều chỉnh  $T_{Ia}$  thay cho giá trị tính được  $T_I$  sao cho chênh lệch giữa giá trị được báo cáo  $T_{Ia}$  và giới hạn dưới của độ tin cậy  $T_I$  được tính toán theo qui trình thông thường nhỏ hơn hoặc bằng 0,6 HIC (giá trị  $T_I$  được thay bằng  $T_{Ia} = T_C + 0,6 \text{ HIC}$ ; xem 4.4 (3) và 7.3 của TCVN7919-3 (IEC 60216-3)).

Các qui trình tính toán và các hạn chế thích hợp đã được phát triển để đáp ứng các trường hợp này và được nêu chi tiết trong TCVN7919-3 (IEC 60216-3). Một lưu đồ và bảng quyết định để thiết lập các qui trình và điều kiện được nêu trong Phụ lục A và B của TCVN7919-3 (IEC 60216-3).

### 6.6.2 Thử nghiệm kiểm chứng

Đối với dữ liệu của thử nghiệm kiểm chứng, thời gian đến điểm cuối được coi là điểm giữa của chu kỳ lão hóa dẫn đến hỏng hóc. Các hỏng hóc tại điểm cuối của chu kỳ lão hóa đầu tiên có thể không được chấp nhận. Hoặc là bắt đầu với một nhóm mới có thể với thời gian chu kỳ ngắn hơn, hoặc bỏ qua hỏng hóc ở chu kỳ đầu tiên và cơ danh nghĩa của nhóm giảm đi một (ví dụ nhóm nhiệt độ gồm 21 được xử lý theo qui trình toán học là 20; xem 6.1.3 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)). Trong cả hai trường hợp, cần kiểm tra cẩn thận kỹ thuật chuẩn bị mẫu thử.

Trong tất cả các trường hợp, tiếp tục lão hóa cho đến khi có nhiều hơn một nửa số các mẫu thử trong mỗi nhóm không qua được thử nghiệm kiểm chứng. Không nhất thiết tất cả các nhóm phải có số lượng bằng nhau hoặc số mẫu thử không đạt bằng nhau.

### 6.6.3 Thử nghiệm phá hủy

Thông thường yêu cầu tối thiểu là ba nhóm lão hóa (ưu tiên số lượng nhiều hơn) tại mỗi nhiệt độ được chọn đối với thử nghiệm tuyến tính, các nhóm này cần phải thỏa mãn ở mức ý nghĩa 0,05 (xem Hình 2 và Hình 3 và 6.1.4.4 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)), và có ít nhất một trong các giá trị trung bình của

các nhóm này nằm trên và ít nhất một giá trị nằm dưới điểm cuối. Các điều kiện này được phép không thỏa mãn trong các trường hợp cụ thể. (Có thể cho phép hoặc là một phép ngoại suy nhỏ hoặc là thử nghiệm tuyến tính tạo mức ý nghĩa 0,005; xem 6.1.4.4 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

### 6.7 Đồ thị độ bền nhiệt và đặc tính độ bền nhiệt

Tính nhiệt độ  $\vartheta_1$  ứng với thời gian đến điểm cuối là 20 000 h (hoặc chọn thời gian  $\tau_1$  khác đối với chỉ số nhiệt độ, sử dụng công thức (47) của 6.3.3 trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

Theo cách này, tính nhiệt độ  $\vartheta_2$  ứng với thời gian đến điểm cuối là 10 000 h hoặc  $\tau_1/2$  khác. Chênh lệch  $\vartheta_2 - \vartheta_1$  là giá trị một nửa thời gian HIC.

Tính nhiệt độ  $\vartheta_3$  ứng với thời gian đến điểm cuối là 1 000 h hoặc  $\tau_1/20$  khác. Sử dụng các điểm  $\vartheta_1$  và  $\vartheta_3$  và thời gian tương ứng của chúng, vẽ đường hồi qui độ bền nhiệt lên giấy vẽ sơ đồ độ bền nhiệt.

Sử dụng các công thức từ (46) đến (50) của 6.3.3 trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3, tính các giới hạn dưới của độ tin cậy của nhiệt độ ước lượng đối với khoảng thời gian 20 000 h, 1 000 h (hoặc cách thay thế như đề cập trong các đoạn trước) và ít nhất trong 5 lần trung gian. Vẽ các cặp điểm nhiệt độ - thời gian này trên đồ thị độ bền nhiệt và nối các điểm này thành một đường cong trơn.

Trên cùng đồ thị, vẽ các nhiệt độ lão hóa, các thời gian đến điểm cuối (đo hoặc giả định) và thời gian trung bình.

Các đặc trưng độ bền nhiệt có được từ các tính toán 6.5 (xem 7.2 và 7.3 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)).

### 6.8 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo thử nghiệm phải có:

- a) bản mô tả vật liệu được thử nghiệm về kích thước và ổn định bất kỳ của mẫu thử;
- b) đặc tính đã được nghiên cứu, điểm cuối được chọn và nếu đây là giá trị phần trăm thì cần có giá trị ban đầu của đặc tính;
- c) phương pháp thử được sử dụng để xác định đặc tính (ví dụ bằng cách tham chiếu đến tiêu chuẩn khác);
- d) thông tin bất kỳ liên quan đến qui trình thử nghiệm, ví dụ, môi trường lão hóa;
- e) các nhiệt độ thử nghiệm riêng, với các thông số thích hợp:
  - 1) đối với các thử nghiệm không phá hủy, thời gian đến điểm cuối riêng có các đồ thị vẽ đặc tính thay đổi theo thời gian lão hóa;
  - 2) đối với các thử nghiệm kiểm chứng, số lượng và khoảng thời gian của các chu kỳ lão hóa với số lượng các mẫu thử đạt được điểm cuối trong các chu kỳ;
  - 3) đối với các thử nghiệm phá hủy, thời gian lão hóa và giá trị đặc tính riêng có các đồ thị vẽ đặc tính thay đổi theo thời gian lão hóa;

## **TCVN 7919-1:2013**

f) đồ thị độ bền nhiệt;

g) chỉ số nhiệt độ và một nửa thời gian được báo cáo theo định dạng qui định trong 6.2;

h) giá trị  $\chi^2$  và k-1 nếu có yêu cầu trong 6.3.1 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3);

i) các hỏng hóc bất kỳ trong chu kỳ đầu tiên theo 5.1.2 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

## **7 Các qui trình đơn giản hóa**

### **7.1 Mô tả sơ lược qui trình**

Tại một nhiệt độ đã chọn, thay đổi các giá trị số của một đặc trưng đã chọn (ví dụ đặc tính cơ khí, quang hoặc điện: xem IEC 60216-2) được xác định như một hàm của thời gian (xem 5.8).

Tiếp tục qui trình cho đến khi đạt đến giá trị điểm cuối qui định của đặc trưng đó, kết quả là có được thời gian đến điểm cuối tại nhiệt độ cụ thể đó.

Các mẫu thử được phơi nhiễm thêm ở tối thiểu hai giá trị nhiệt độ khác và xác định các thay đổi trong đặc trưng liên quan. Các mẫu thử được lão hóa nhiệt tại ba hoặc bốn nhiệt độ và xác định thời gian đến điểm cuối đối với mỗi nhiệt độ.

Khi hoàn thành dữ liệu tại tất cả các nhiệt độ, vẽ đồ thị độ bền nhiệt và thực hiện tính toán thống kê tương đối đơn giản để đánh giá xem liệu độ tuyến tính của đồ thị có khẳng định tính toán của các đặc trưng độ bền nhiệt hay không.

### **7.2 Qui trình thực nghiệm**

#### **7.2.1 Chọn thử nghiệm chẩn đoán**

Thử nghiệm được chọn phải liên quan đến một đặc trưng mà có nhiều khả năng là có ý nghĩa trong thực tiễn và, bất cứ khi nào có thể, phải sử dụng các phương pháp thử nghiệm qui định trong các tiêu chuẩn khác (ví dụ xem IEC 60216-2). Nếu các kích thước và/hoặc dạng của các mẫu thử bị biến đổi do xử lý nhiệt thì chỉ có thể sử dụng các phương pháp thử nghiệm không phụ thuộc vào các ảnh hưởng này.

#### **7.2.2 Chọn điểm cuối**

Để chọn điểm cuối, cần xét đến hai hệ số sau:

a) khoảng thời gian để ước lượng chỉ số nhiệt. Đối với các mục đích chung, khoảng thời gian này nên là 20 000 h; đối với các mục đích đặc biệt, có thể qui định thời gian khác;

b) thay đổi chấp nhận được của đặc trưng đã chọn. Giá trị này phụ thuộc vào các điều kiện sử dụng dự đoán được.

### 7.2.3 Mẫu thử

Kích thước và phương pháp chuẩn bị mẫu thử phải tuân theo các qui định kỹ thuật cho trước đối với phương pháp thử nghiệm liên quan.

- a) Đối với tiêu chí đòi hỏi thử nghiệm không phá hủy, trong hầu hết các trường hợp, một nhóm gồm năm mẫu thử cho mỗi nhiệt độ phơi nhiễm là thích hợp.
- b) Đối với các tiêu chí thử nghiệm kiểm chứng, một nhóm tối thiểu là 11 và có thể gồm 21 mẫu thử sẽ được yêu cầu cho mỗi nhiệt độ phơi nhiễm.
- c) Đối với tiêu chí đòi hỏi thử nghiệm phá hủy, tổng số mẫu thử tối thiểu ( $N$ ) cần thiết được tính như sau:

$$N = a \times b \times c + d \quad (4)$$

trong đó

- $a$  là số lượng mẫu thử trong nhóm thử nghiệm qua xử lý như nhau tại một nhiệt độ và bị loại bỏ sau khi xác định được đặc tính (thường là năm mẫu);
- $b$  là số lượng các xử lý, nghĩa là các khoảng thời gian phơi nhiễm tại một nhiệt độ;
- $c$  là số các mức nhiệt độ phơi nhiễm;
- $d$  là số lượng mẫu thử trong nhóm được sử dụng để thiết lập giá trị ban đầu của đặc tính. Trong thực tế thường chọn  $d = 2a$  khi tiêu chí chẩn đoán là giá trị thay đổi theo phần trăm của đặc tính so với giá trị ban đầu. Khi tiêu chí là mức đặc tính tuyệt đối,  $d$  thường lấy giá trị là zero, trừ khi có yêu cầu ghi vào báo cáo giá trị ban đầu.

CHÚ THÍCH 1: Nếu các qui tắc này dẫn đến một số lượng rất lớn các mẫu thử cần được thử nghiệm thì, trong một số trường hợp nhất định, có thể có khả năng lệch khỏi các qui định kỹ thuật về thử nghiệm liên quan và giảm số lượng này. Tuy nhiên, phải thừa nhận rằng độ chính xác của kết quả thử nghiệm phụ thuộc phần lớn vào số lượng mẫu thử nghiệm.

CHÚ THÍCH 2: Ngược lại, khi các kết quả riêng rẽ quá phân tán, có thể cần tăng số lượng mẫu thử để có được độ chính xác thỏa đáng.

CHÚ THÍCH 3: Khuyến khích thực hiện một đánh giá gần đúng bằng các thử nghiệm sơ bộ, số lượng và thời gian của các thử nghiệm lão hóa cần thiết.

### 7.3 Nhiệt độ phơi nhiễm

Các mẫu thử phải được phơi nhiễm với không ít hơn ba nhiệt độ, bao trùm một phạm vi thích hợp để thiết lập chỉ số nhiệt độ bằng cách ngoại suy với độ chính xác cần thiết. Nhiệt độ phơi nhiễm thấp nhất phải được chọn sao cho thời gian để đạt đến điểm cuối ít nhất là 5 000 h. Tương tự như vậy, nhiệt độ cao nhất phải được chọn sao cho thời gian để đạt đến điểm cuối không ít hơn 100 h và tốt nhất là



## **TCVN 7919-1:2013**

không lớn hơn 500 h (xem chú thích trong 5.5, c)). Nhiệt độ phơi nhiễm thấp nhất không lớn hơn 25 °C so với giá trị TI dự kiến.

Nếu cần xác định chỉ số nhiệt trong thời gian khác với 20 000 h, nhiệt độ phơi nhiễm thấp nhất phải được chọn sao cho thời gian cần thiết để đạt đến điểm cuối tối thiểu phải bằng một phần tư thời gian lựa chọn để ngoại suy.

Việc lựa chọn các nhiệt độ phơi nhiễm thích hợp đòi hỏi thông tin được xác định trước về vật liệu cần thử nghiệm. Nếu không có sẵn các thông tin như vậy, các thử nghiệm thăm dò có thể hỗ trợ trong việc lựa chọn các nhiệt độ phơi nhiễm phù hợp để đánh giá các đặc trưng độ bền nhiệt.

### **7.4 Lò lão hóa**

Đối với lão hóa nhiệt, phải sử dụng các lò phù hợp với các yêu cầu qui định trong IEC 60216-4, đặc biệt liên quan đến các dung sai nhiệt độ và tốc độ thông gió của trao đổi không khí.

### **7.5 Qui trình**

Ngoài các mẫu thử được phơi nhiễm với các nhiệt độ lão hóa nhiệt, phải chuẩn bị số lượng các mẫu thử thích hợp

- đối với trường hợp ở đó độ chính xác đòi hỏi có lão hóa nhiệt ở giá trị nhiệt độ bổ sung,
- làm mẫu chuẩn.

Các mẫu thử này phải được lưu giữ trong khí quyển được kiểm soát thích hợp (xem ISO 291).

#### **7.5.1 Giá trị đặc tính ban đầu**

Khi có yêu cầu, trước khi bắt đầu qui trình lão hóa nhiệt, phải thực hiện một thử nghiệm ban đầu ở nhiệt độ phòng với số lượng mẫu thử cần thiết được ổn định và thử nghiệm theo phương pháp thử đã chọn.

Các vật liệu nhựa nhiệt cứng phải được ổn định trong 48 h ở nhiệt độ phơi nhiễm thấp nhất trong phạm vi đã chọn.

#### **7.5.2 Qui trình lão hóa**

Đặt số các mẫu thử cần thiết vào từng lò được duy trì ở các nhiệt độ đã chọn.

Nếu có nguy cơ ô nhiễm lẫn nhau giữa các mẫu thử được làm từ các chất dẻo khác nhau, sử dụng các lò riêng biệt cho mỗi loại vật liệu.

Tại cuối mỗi giai đoạn lão hóa nhiệt, số lượng mẫu thử cần thiết được lấy khỏi lò và được ổn định, nếu cần, trong khí quyển được kiểm soát thích hợp (xem ISO 291). Thử nghiệm, theo tiêu chí thử nghiệm đã chọn, phải được thực hiện ở nhiệt độ phòng. Sau khi thử nghiệm, trong các trường hợp thử nghiệm không phá hủy và thử nghiệm kiểm chứng, các mẫu phải được đưa trở về lò để lão hóa thêm.

Tiếp tục quá trình này cho đến khi giá trị trung bình bằng số của đặc trưng cần nghiên cứu đạt đến điểm cuối liên quan.

## 7.6 Qui trình tính toán đơn giản hóa

### 7.6.1 Thời gian đến điểm cuối

Đối với thử nghiệm phá hủy với từng nhiệt độ phơi nhiễm và với nhóm được lấy ra khỏi lò sau mỗi giai đoạn lão hóa, giá trị trung bình của đặc tính đã chọn được vẽ đồ thị là hàm của logarit thời gian lão hóa (xem Hình 2). Điểm mà tại đó đồ thị giao với trục hoành thể hiện tiêu chí điểm cuối được lấy là thời gian đến điểm cuối của nhóm nhiệt độ.

Đối với thử nghiệm không phá hủy, giá trị đặc tính đo được trên từng mẫu sau mỗi quá trình lão hóa được vẽ đồ thị và điểm mà tại đó đồ thị này giao với trục hoành thể hiện tiêu chí điểm cuối được lấy là thời gian đến điểm cuối của mẫu thử. Thời gian đến điểm cuối của nhóm nhiệt độ là trung bình các thời gian của mẫu thử.

Khi áp dụng thử nghiệm kiểm chứng, từng thời gian lão hóa phải được tính là giá trị trung bình của thời gian tại thời điểm ban đầu và kết thúc của giai đoạn lão hóa. Thời gian lão hóa của nhóm nhiệt độ sẽ được lấy là thời gian của giai đoạn lão hóa mà ở đó lấy hồng học trung bình về thử nghiệm kiểm chứng (xem thêm 6.3.2).

### 7.6.2 Tính đường hồi quy

Với mục đích của tiêu chuẩn này, chức năng lão hóa được giả định là phương trình liên quan đến nhiệt độ tuyệt đối  $\Theta$  (kelvin) theo thời gian cần thiết cho một thay đổi cố định trong giá trị của đặc tính,  $\tau$ :

$$\tau = Ae^{B/\Theta} \quad (5)$$

trong đó:

A và B là hằng số phụ thuộc vật liệu và thử nghiệm chẩn đoán;

$\Theta$  là nhiệt độ tuyệt đối, bằng  $\vartheta + \Theta_0$ ;

$\vartheta$  là nhiệt độ tính bằng độ Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Theta_0 = 273,15 \text{ K}$ .

Điều này có thể được biểu diễn theo phương trình tuyến tính:

$$y = a + bx \quad (6)$$

trong đó

$$y = \ln \tau$$

$$x = 1/\Theta$$

$$a = \ln A$$

$$b = B$$

## TCVN 7919-1:2013

Cho trước một nhóm các cặp giá trị  $x$  và  $y$ , các giá trị  $a$  và  $b$  cho quan hệ tuyến tính phù hợp nhất được xác định từ các giá trị  $x, y$ :

$$y = \frac{(\sum xy - \sum x \sum y / k)}{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / k]} \quad (7)$$

$$a = \frac{(\sum y - b \sum x)}{k} \quad (8)$$

trong đó  $k$  là số lượng các giá trị  $x, y$ .

CHÚ THÍCH 1: Do hầu hết các máy tính "khoa học" có chức năng "thống kê" đều hỗ trợ phân tích hồi qui, nên tính toán theo các công thức từ (5) đến (7) ở trên đều được thực hiện bằng máy tính. Trong trường hợp này, quan trọng là  $x$  được nhập vào là biến độc lập và  $y$  là biến phụ thuộc.

CHÚ THÍCH 2: Với các máy tính như vậy, thông thường có thể nhập vào các giá trị thời gian và nhiệt độ rồi chuyển đổi chúng thành các giá trị  $x$  và  $y$  trước khi thực hiện phép cộng.

CHÚ THÍCH 3: Có thể sử dụng các logarit theo cơ số khác (ví dụ 10) nhưng sẽ ảnh hưởng đến giá trị sử dụng trong 7.6.3.

### 7.6.3 Tính sai lệch so với tuyến tính

Tính hệ số xác định (bình phương hệ số tương quan). Mặt khác, điều này có thể được thực hiện bằng chức năng hồi qui của máy tính.

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \sum x \sum y / k)^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / k][\sum y^2 - (\sum y)^2 / k]} \quad (9)$$

Tính mômen thứ cấp trung tâm của các giá trị  $y$ . Giá trị này bằng với bình phương của độ lệch tiêu chuẩn của  $y$  nhân với  $(k-1)/k$ .

$$\mu_2(y) = \frac{[\sum y^2 - (\sum y)^2 / k]}{k} \quad (10)$$

Tính trung bình độ lệch của các điểm dữ liệu từ đường hồi quy:

$$s_y = \sqrt{\frac{(1-r^2)\mu_2(y)}{(k-2)}} \quad (11)$$

### 7.6.4 Chỉ số nhiệt và một nửa thời gian

Nếu giá trị  $s_y$  thu được từ công thức (11) nhỏ hơn 0,16 (hoặc 0,0695 nếu sử dụng logarit cơ số 10) thì có thể xác định các giá trị TI và HIC. Nếu không đáp ứng điều kiện này thì các sai lệch so với giả thiết cơ bản là quá lớn để cho phép tính toán.

$$\vartheta = \frac{b}{(\ln \tau - a)} - \Theta_0 \quad (12)$$

Sử dụng công thức (12), tính nhiệt độ ứng với các giá trị của  $\tau$  (tính bằng giờ) là 20 000, 10 000 và 2 000 được ký hiệu là  $\vartheta_{20\,000}$ ,  $\vartheta_{10\,000}$ , và  $\vartheta_{2\,000}$  tương ứng.

Sử dụng các cặp dữ liệu ( $\vartheta_{20\,000}$ , 20 000) và ( $\vartheta_{2\,000}$ , 2 000) vẽ đường hồi qui trên giấy vẽ đồ thị độ bền nhiệt để có được đồ thị độ bền nhiệt.

Tính các giá trị TI và HIC:

$$TI = \vartheta_{20\,000}, \quad HIC = \vartheta_{20\,000} - \vartheta_{2\,000}$$

CHÚ THÍCH: Nếu sử dụng giá trị  $\tau$  khác 20 000 để tính TI, thay giá trị 10 000 và 2 000 ở trên bằng các giá trị  $\tau/2$  và  $\tau/10$ .

### 7.6.5 Tính hợp lệ của các tính toán đơn giản

Qui trình tính toán đưa ra ở trên chỉ hợp lệ khi số các dữ liệu góp phần vào trung bình thời gian đến điểm cuối của tất cả các nhóm nhiệt độ xấp xỉ bằng nhau. Ngoài ra, qui trình không thử nghiệm độ phân tán của dữ liệu thử nghiệm để có thể chấp nhận được. Vì các lý do này, kết quả không thể đưa ra tình trạng chấp nhận thống kê đầy đủ, và qui trình chỉ được sử dụng khi có sẵn kinh nghiệm thỏa đáng về đáp ứng của vật liệu trong thử nghiệm độ bền nhiệt.

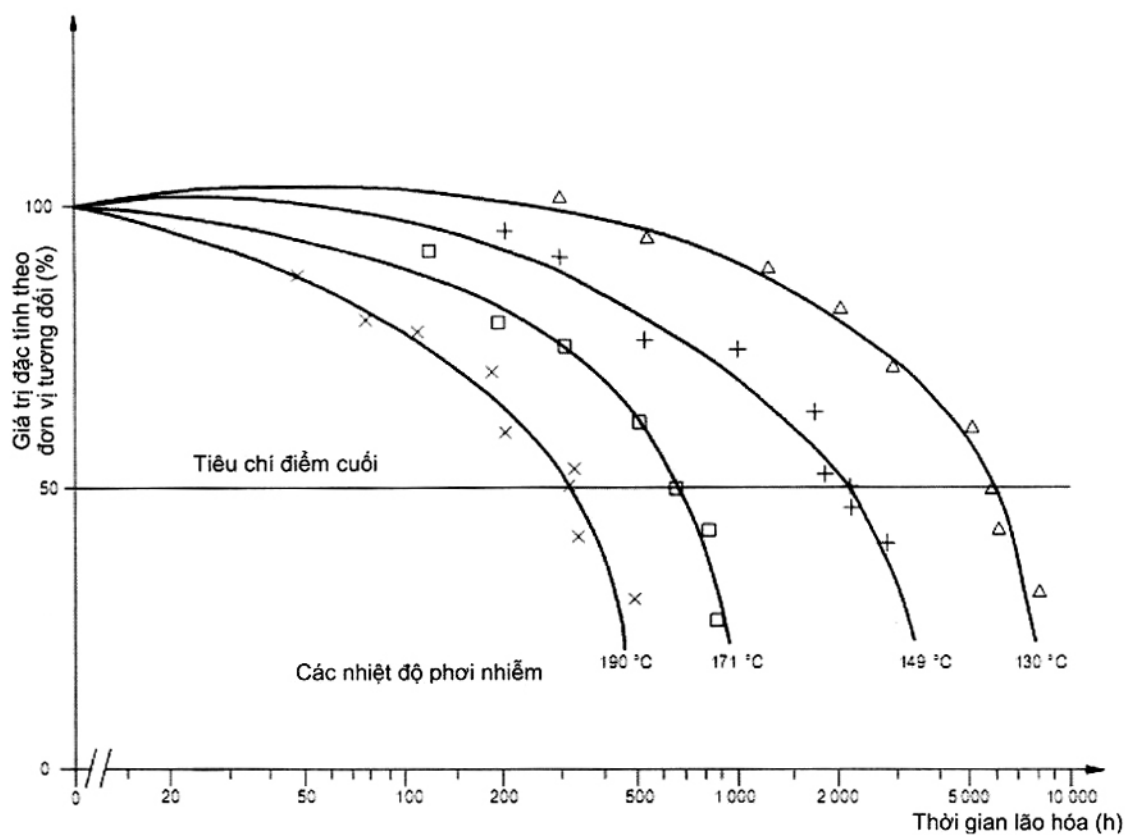
Trong tất cả các trường hợp có nghi ngờ, cần thực hiện phân tích đầy đủ hơn được mô tả trong 6.3 đến 6.7 và TCVN 7919-3 (IEC 60216-3), đặc biệt là khi có nghi ngờ về khả năng chấp nhận độ phân tán của dữ liệu thử nghiệm.

### 7.6.6 Báo cáo thử nghiệm

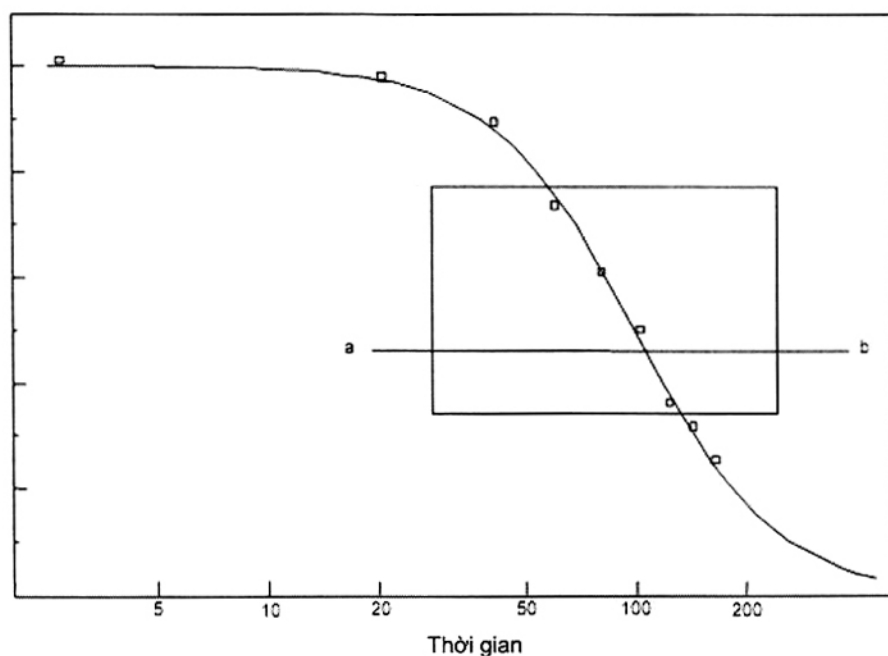
Lập báo cáo thử nghiệm theo 6.8, có định dạng:

$$TI_S = xxx, HIC_S = yy,y$$





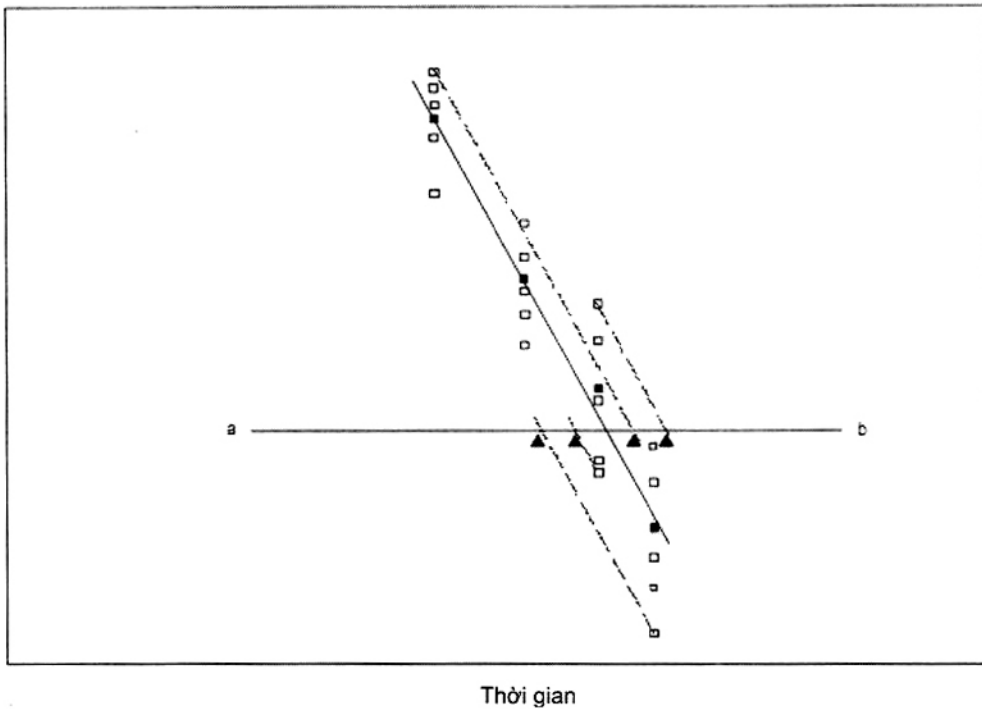
**Hình 1 – Biến thiên đặc tính – Xác định thời gian đến điểm cuối tại từng nhiệt độ  
(thử nghiệm không phá hủy và thử nghiệm phá hủy)**



Chi tiết bên trong hình chữ nhật được thể hiện trên Hình 3.

Đoạn ab      Giá trị đặc tính tại điểm cuối

**Hình 2 – Ước lượng thời gian đến điểm cuối – Giá trị đặc tính (trục tung, đơn vị tùy ý) theo thời gian (trục hoành, thang log, đơn vị tùy ý)**



- Điểm dữ liệu
- Giá trị đặc tính trung bình của nhóm
- ▲ Giá trị ước lượng thời gian đến điểm cuối

a—b Giá trị đặc tính tại điểm cuối

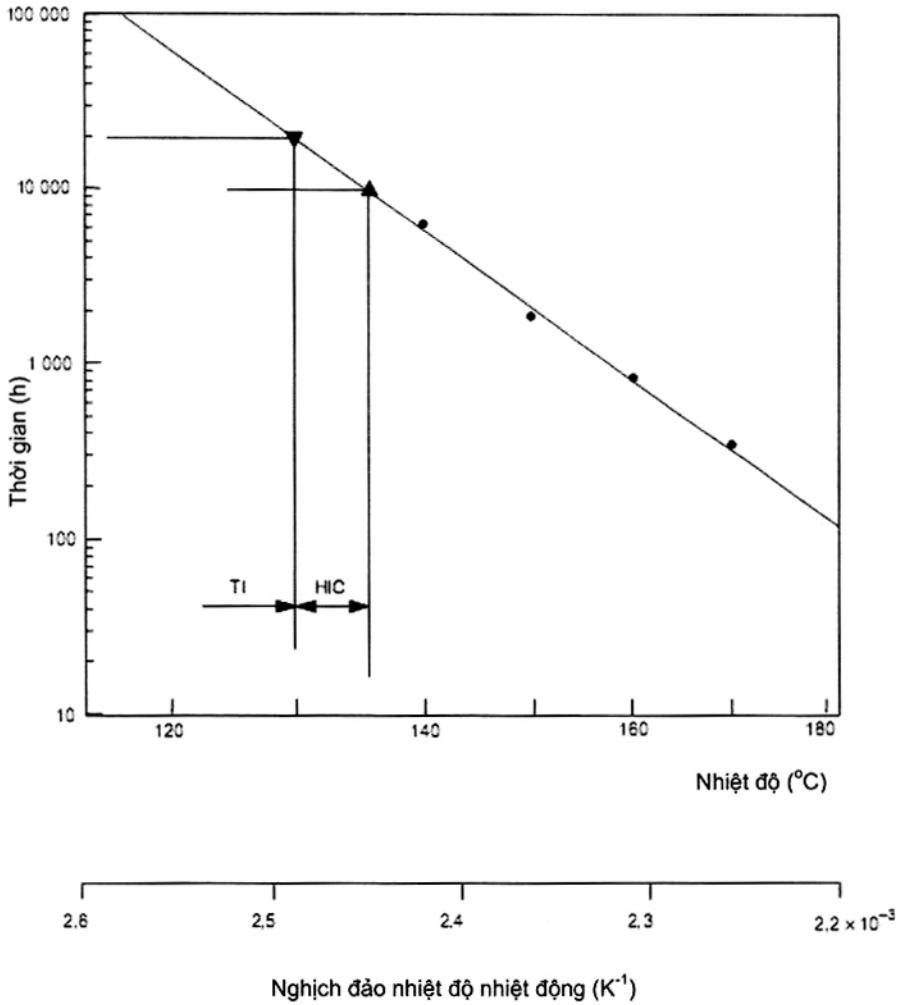
— Đường hồi quy

----- Đường ước lượng song song với đường hồi quy

Đề rõ ràng, không thể hiện tất cả các đường ước lượng cho tất cả các điểm dữ liệu.

**Hình 3 – Thử nghiệm phá hủy – Ước lượng thời gian đến điểm cuối**





- ▼ Ước lượng nhiệt độ, 20 000 h
- ▲ Ước lượng nhiệt độ, 10 000h

Hình 4 – Đồ thị độ bền nhiệt

## Phụ lục A

(tham khảo)

### Độ phân tán và độ không tuyến tính

#### A.1 Độ phân tán dữ liệu

Các thử nghiệm đối với khả năng chấp nhận độ phân tán dữ liệu được nêu chi tiết trong TCVN 7919-3 (IEC 60216-3). Hậu quả độ phân tán dữ liệu quá cao chính là giới hạn dưới của độ tin cậy TI 95 % lớn hơn giá trị có thể được chấp nhận, và trong các trường hợp này, tính khả dụng của ước lượng TI là không rõ ràng.

Nếu độ phân tán dữ liệu không cao do kỹ thuật thực nghiệm không thích hợp thì ảnh hưởng của độ phân tán cao có thể được khắc phục bằng cách sử dụng một lượng lớn hơn các giá trị dữ liệu, nghĩa là nhiều mẫu thử hơn. Điều này không nhất thiết phải lặp lại toàn bộ công việc thực nghiệm bởi vì có thể thử nghiệm thêm các mẫu (nếu có sẵn vật liệu) và đưa thêm kết quả cho dữ liệu ban đầu. Các thử nghiệm bổ sung này có thể ở nhiệt độ thấp hơn hoặc ở nhiệt độ trung gian nhưng nhìn chung không nên cao hơn nhiệt độ được chọn ban đầu.

Trong trường hợp các thử nghiệm kiểm chứng có dữ liệu chưa hoàn chỉnh (thường kiểm duyệt tại điểm giữa), có thể có được việc tăng đủ cỡ nhóm dữ liệu bằng cách tiếp tục phơi nhiễm cho đến khi các mẫu thử bổ sung không đáp ứng thử nghiệm kiểm chứng.

Kích thước của khoảng tin cậy xấp xỉ tỉ lệ với căn bậc hai của nghịch đảo tổng số các giá trị dữ liệu.

#### A.2 Độ không tuyến tính

##### A.2.1 Cơ chế giảm chất lượng do nhiệt

Mô hình thử nghiệm độ bền nhiệt của các vật liệu cách điện theo tiêu chuẩn này là khả năng áp dụng về ý thuyết của các quá trình tốc độ hoạt hóa do nhiệt. Mô hình này có hiệu lực khi điểm cuối được chọn của đặc tính chẩn đoán tương quan với mức độ thay đổi phân tử riêng của vật liệu chịu lão hóa. Do đó, hiệu lực của mô hình này không phụ thuộc vào tình trạng nghiêm ngặt hơn của quan hệ tuyến tính giữa mức đặc tính chẩn đoán và mức độ thay đổi phân tử.

Ngoài giả thiết cơ bản đề cập ở trên, một vài giả thiết chung liên quan đến cơ chế hóa học của lão hóa nhiệt phải được thỏa mãn.

- Vật liệu hoặc kết hợp các vật liệu cần đồng đều.
- Giảm chất lượng do nhiệt cần tiến hành trong cùng giai đoạn đồng nhất.
- Phản ứng lão hóa về cơ bản là không thuận nghịch.

### A.2.2 Độ không tuyến tính của các nhóm dữ liệu

Độ không tuyến tính của dữ liệu được chỉ thị bằng việc không đáp ứng thử nghiệm F khi đánh giá dữ liệu, tại cùng một thời gian, độ phân tán dữ liệu là đủ lớn đối với khoảng độ tin cậy của kết quả cần cao hơn giá trị chấp nhận được (xem 6.3 của TCVN 7919-3 (IEC 60216-3)). Điều này có thể phát sinh từ kỹ thuật thực nghiệm không thích hợp (ví dụ sai số nhiệt độ lò); độ không tuyến tính như vậy có thể được hiệu chỉnh bằng cách thử nghiệm thêm. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp, các sai lệch phát sinh do phản ứng lão hóa của vật liệu; điều này xảy ra với nhiều vật liệu nhựa nhiệt dẻo hoặc các vật liệu khác có phạm vi nhiệt độ lão hóa bao trùm hoặc sát với nhiệt độ chuyển tiếp của một số loại hoặc có nhiều hơn một cơ chế lão hóa.

Trong những trường hợp như vậy, có thể thu được kết quả chấp nhận được bằng cách thử nghiệm thêm ở nhiệt độ thấp hơn. Điều này sẽ có tác động làm giảm ngoại suy, là một trong những ảnh hưởng khi xác định kích thước của khoảng tin cậy và cũng làm cho các sai số liên quan đến độ không tuyến tính bớt nghiêm trọng hơn.

Cũng có thể có khả năng là các kết quả chấp nhận được sẽ đạt thu nhận khi thực hiện thử nghiệm thêm ở nhiệt độ thấp hơn bằng cách loại bỏ các kết quả tại (các) nhiệt độ cao nhất, vì sai lệch chỉ có thể trở nên có nghĩa ở các nhiệt độ cao hơn.

Nếu các cách này không thành công, cần thử nghiệm tại một nhiệt độ đủ thấp để không cần ngoại suy.

## Phụ lục B

(tham khảo)

### Thời gian và nhiệt độ phơi nhiễm

Bảng 1 được sử dụng để chọn nhiệt độ và khoảng thời gian chu kỳ lão hóa khi lập kế hoạch thử nghiệm độ bền nhiệt. Hàng trong bảng 1 tương ứng với chỉ số TI được ước lượng biểu diễn thời gian lão hóa đề xuất tính bằng ngày ở nhiệt độ lò được ghi tại đầu mỗi cột tương ứng. Các kết quả ban đầu của thử nghiệm lão hóa có thể thúc đẩy việc điều chỉnh các chu kỳ lão hóa hoặc nhiệt độ lão hóa bổ sung.

Nên phân biệt giữa

- lão hóa liên tục và lão hóa chu kỳ;
- các thử nghiệm phá hủy, không phá hủy và kiểm chứng để xác định mức độ suy giảm chất lượng.

Các khuyến cáo và đề nghị dưới đây có thể hữu ích trong việc thiết lập thời gian và nhiệt độ lão hóa.

#### B.1 Nhiệt độ

a) Nhiệt độ phơi nhiễm cao nhất nên có giá trị để có thời gian đến điểm cuối trung bình từ 100 h đến 500 h (xem chú thích của 5.5 c)).

b) Nhiệt độ phơi nhiễm đã chọn nên khác nhau bởi các khoảng thời gian bằng nhau, thông thường là 20 K, nếu toàn bộ phạm vi nhiệt độ thử nghiệm dự kiến tạo ra cơ chế lão hóa như nhau (xem Bảng 1). Ví dụ, nếu nguyên tắc này tạo ra các thay đổi của cơ chế B khi điểm chuyển đổi như điểm tan hoặc điểm nóng chảy vượt quá B thì nhiệt độ phơi nhiễm lớn nhất sẽ cần phải hạn chế. Trong các trường hợp như vậy, hoặc biết được hoặc dự kiến là giá trị HIC nhỏ hơn 10 K, thì chênh lệch giữa các mức nhiệt độ lão hóa có thể cần phải được giảm xuống nhưng không nhỏ hơn 10K (sao cho có thể chấp nhận được các ảnh hưởng dung sai nhiệt độ lò).

c) Việc chọn các nhiệt độ phơi nhiễm đòi hỏi phải ước lượng hoặc biết trước giá trị xấp xỉ của chỉ số nhiệt độ của vật liệu cần thử nghiệm. Nếu không có sẵn thông tin này thì có thể thực hiện các thử nghiệm kiểm tra sơ bộ để đưa ra dự đoán cho chỉ số TI.

#### B.2 Thời gian

##### B.2.1 Lão hóa chu kỳ

Đối với thử nghiệm kiểm chứng và thử nghiệm không phá hủy, cần giảm thiểu các sai số do sự khác nhau về xử lý, thử nghiệm và chu kỳ nhiệt giữa các nhóm được phơi nhiễm ở các nhiệt độ được chọn.

## TCVN 7919-1:2013

Để đạt được điều này, chọn chiều dài chu kỳ sao cho giá trị trung bình hoặc điểm trung bình của thời gian đến điểm cuối đạt được trong khoảng 10 chu kỳ nhưng không ít hơn bảy chu kỳ.

Đối với các thử nghiệm phá hủy, mặc dù Bảng 1 đề xuất chiều dài chu kỳ là hằng số, có thể sử dụng thời gian thử nghiệm theo một chuỗi hình học.

### B.2.2 Lão hóa liên tục

Đối với các thử nghiệm phá hủy, quá trình lão hóa của mỗi nhóm là liên tục và do đó không cần đạt được giá trị trung bình của thời gian đến điểm cuối ở các nhiệt độ lão hóa khác nhau trong thời gian xấp xỉ bằng bội số của các chiều dài chu kỳ cho trong Bảng 1. Tuy nhiên, số lượng nhóm mẫu thử dự kiến tại mỗi nhiệt độ (xem 5.3) cần tối thiểu là 5 mẫu, ưu tiên 10 mẫu, nếu có thể. Khoảng thời gian giữa các thử nghiệm của các nhóm nên được dự định sao cho các kết quả có ít nhất hai nhóm mẫu thử có sẵn trước trung bình thời gian đến điểm cuối và ít nhất có một sau thời gian này: tốc độ thay đổi đặc tính theo thời gian trong khoảng này cần có độ tuyến tính một cách thỏa đáng. Xem 6.3.3 và TCVN 7919-3 (IEC 60216-3).

### B.3 Các nhóm mẫu thử bị trễ

Có thể cần phải đánh giá một qui trình liên tiếp khi thử nghiệm một vật liệu chưa biết. Trong trường hợp như vậy, thông thường để thuận tiện, bắt đầu bằng cách đưa vào lò lão hóa một nửa số lượng mẫu thử đã chuẩn bị và thực hiện các phép đo sau chu kỳ phơi nhiễm thứ hai hoặc thứ ba trong chuỗi khuyến cáo. Sau một vài chu kỳ, các mẫu thử còn lại có thể được đặt vào lò và xác định các điểm trên đường cong lão hóa (đường cong thay đổi đặc tính) (xem Hình 1, 2 và 3) mà nhận thấy là cần thiết.

Cũng có thể cần phải đánh giá một qui trình liên tiếp trong đó độ chính xác dự kiến của việc đánh giá đòi hỏi các mẫu thử bổ sung cần lão hóa, ví dụ, trong trường hợp mà quan hệ độ bền nhiệt không còn tuyến tính. Nếu có quyết định kéo dài chương trình thử nghiệm ban đầu tiếp sau khi kết thúc thì thời gian của một qui trình hoàn chỉnh có thể trở nên không thực hiện được. Thay vào đó, có thể ước lượng sơ bộ xu hướng của mối quan hệ độ bền nhiệt có thể sau lần hồng thử nhất hoặc thứ hai ở nhiệt độ lão hóa thấp nhất của chương trình ban đầu. Lão hóa ở (các) nhiệt độ thấp hơn của một hoặc hai nhóm mẫu bổ sung trong trường hợp không tuyến tính có thể được bắt đầu ngay để tạo ra dữ liệu thử nghiệm hoàn chỉnh trong giới hạn thời gian vẫn còn chấp nhận được.

Một qui trình thường được thấy là rất hữu ích bao gồm việc đưa các nhóm thử nghiệm trễ theo sau trình tự cho trong Bảng B.1 dưới đây .

Ví dụ này dựa trên chín nhóm thử nghiệm được ký hiệu là A, B, C, D, E, F, G, H, I cần được phơi nhiễm ở cùng nhiệt độ.

Năm nhóm thử nghiệm được đặt trong lò tại thời điểm bắt đầu của trình tự. Sau các lần trễ liên tiếp (xem Bảng B.1 chú thích <sup>a</sup> dưới đây), bổ sung thêm 3 nhóm nữa.

Các nhóm thử nghiệm được chỉ ra trong bảng dưới đây.

Bảng B.1 – Các nhóm

Bắt đầu chu kỳ	Các nhóm được đưa vào lò lão hóa	Tháo ra khỏi lò và thử nghiệm các nhóm
1	B C D E F	A (không được lão hóa)
2 <sup>a</sup>	G	
3 <sup>a</sup>	H	
4 <sup>a</sup>	I	
5		B
9		C
13		D
17		E
21		F
<sup>a</sup> Bị trễ sau khi bắt đầu chu kỳ một khoảng thời gian bằng tổng thời gian ổn định và thời gian để thử nghiệm nhóm.		

Nếu không đạt đến điểm cuối sau khi thử nghiệm của Nhóm F, các nhóm từ G đến I có thể được thử nghiệm sau khi lão hóa thích hợp bổ sung.

Nếu một trong các nhóm từ B-F đạt đến điểm cuối thì nhóm G-I được tháo khỏi lò ngay lập tức và được thử nghiệm sau khi ổn định. Ví dụ, nếu Nhóm C đạt đến điểm cuối (9 chu kỳ), nhóm G, H và I sẽ được nhận được sáu, bảy và tám chu kỳ tương ứng khi thử nghiệm. Theo cách này, tổng số các thử nghiệm được giảm xuống mà không mất công sàng lọc.

Các giá trị này được dự kiến chỉ để minh họa và có thể được thay đổi theo các yêu cầu công việc.