

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

Đặng Thị Hồng Hué

Nghiên cứu cơ chế phá hủy phiê trong quá trình cán nêđng

Chuyên ngành: Kỹ thuật vật liệu Mã số: 62520309

Nghiên cứu sinh: Đặng Thị Hồng Hué

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Đào Minh Ngừng

GS.TS Nguyễn Trọng Giảng

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các kết quả và số liệu công bố trong luận án trung thực và chưa từng được công bố trong công trình khác.

Hà Nội, ngày 10 tháng 5 năm 2014

TM. Tập thể hướng dẫn

Nghiên cứu sinh

PGS.TS Đào Minh Ngữ

Đặng Thị Hồng Huế

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin chân thành cảm ơn Bộ môn Cơ học vật liệu và Cán kim loại - Viện Khoa học và Kỹ thuật vật liệu - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Viện Vật lý Kỹ thuật thuộc Viện Hàn lâm khoa học quốc gia Belarus đã giúp tôi thực hiện luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn PGS.TS Đào Minh Nguyên, GS.TS. Nguyễn Trọng Giảng đã tận tình hướng dẫn tôi về chuyên môn để tôi có thể thực hiện và hoàn thành luận án.

Tôi xin tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các thầy phản biện, các thầy trong hội đồng chấm luận án đã dành thời gian đọc và góp những ý kiến quý báu để tôi hoàn thiện bản luận án của mình, cũng như giúp tôi định hướng nghiên cứu trong tương lai.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới toàn thể gia đình, bạn bè, đồng nghiệp những người đã giúp đỡ, động viên, khuyến khích tôi thực hiện công trình này.

Hà Nội, ngày 10 tháng 5 năm 2014

Nghiên cứu sinh

Đặng Thị Hồng Huế

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH MỤC CÁC BẢNG	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	viii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN	1
1.1. Giới thiệu quá trình cán nê m ngang.....	5
1.1.1. Sơ đồ nguyên lý	5
1.1.2. Các thông số cơ bản của quá trình.....	6
1.1.3. Điều kiện quay phôi.....	7
1.1.4. Trạng thái ứng suất và biến dạng.....	9
1.1.5. Các thông số động lực học	10
1.2. Sản phẩm cán, phế phẩm và đặc điểm khuyết tật	10
1.2.1. Yêu cầu về chất lượng sản phẩm	10
1.2.2. Khuyết tật hình dạng.....	11
1.2.3. Khuyết tật bề mặt	14
1.2.4. Khuyết tật rỗng tâm.....	14
1.3. Kết luận.....	22
CHƯƠNG 2 MÔ HÌNH THUỘC TÍNH VÀ PHÁ HỦY VẬT LIỆU	23
2.1. Phá hủy dẻo vật liệu kim loại.....	23
2.1.1. Sự hình thành và xuất hiện lỗ xốp, vết nứt tế vi	24
2.1.2. Sự phát triển của lỗ xốp tế vi	25
2.1.3. Sự hợp nhất của lỗ xốp tế vi	26
2.2. Mô hình phá hủy vật liệu	26
2.2.1. Mô hình phá hủy trên cơ sở cơ học môi trường liên tục.....	28
2.2.2. Mô hình phá hủy trên cơ sở quan sát hiện tượng.....	29
2.3. Mô hình thuộc tính vật liệu.....	32
2.4. Phân tích và lựa chọn mô hình.....	35
2.5. Kết luận.....	36
CHƯƠNG 3 NHẬN DẠNG MÔ HÌNH JOHNSON-COOK	37
3.1. Phương pháp nhận dạng mô hình Johnson – Cook.....	37
3.1.1. Phương pháp nhận dạng mô hình thuộc tính	37
3.1.2. Phương pháp nhận dạng mô hình phá hủy Johnson - Cook.....	39
3.2. Thí nghiệm nhận dạng	42

3.2.1. Vật liệu thí nghiệm.....	46
3.2.2. Mẫu thí nghiệm.....	47
3.2.3. Thiết bị thí nghiệm.....	52
3.3. Kết quả thí nghiệm.....	52
3.3.1. Kết quả thí nghiệm nhận dạng mô hình thuộc tính Johnson- Cook.....	53
3.3.2. Nhận dạng mô hình phá hủy Johnson – Cook.....	61
CHƯƠNG 4 MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH CÁN NÊM NGANG	72
4.1. Phần mềm mô phỏng quá trình tạo hình và phá hủy vật liệu.....	72
4.2. Mô phỏng quá trình cán nê m ngang - mô hình 2D.....	73
4.2.1. Điều kiện mô phỏng.....	74
4.2.2. Kết quả mô phỏng.....	74
4.2.3. Phân tích trạng thái ứng suất-biến dạng tại vùng tâm phôi.....	74
4.3. Xây dựng mô hình học cho bài toán cán ren 3D.....	82
4.3.1. Thiết lập mô hình đối với nê m cán	83
4.3.2. Thiết lập mô hình đối với phôi cán	84
4.3.3. Mô hình lắp ghép giữa phôi và khuôn	85
4.4. Kết quả và phân tích	86
4.4.1. Hình dạng hình học của chi tiết ren	86
4.4.2. Mặt cắt ngang, mặt cắt dọc chi tiết vít ren côn sau mô phỏng.....	87
4.4.3 Trạng thái ứng suất	88
4.4.4. Trạng thái biến dạng	91
4.4.5. Sự phân bố nhiệt độ trên phôi	93
4.4.6. Biến phá hủy vô hướng.....	95
4.4.7. Tải trọng.....	95
4.5. Kết luận.....	96
CHƯƠNG 5 THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CÁN NÊM NGANG	97
5.1. Máy cán nê m ngang.....	97
5.2. Nê m cán ren	99
5.3. Công nghệ cán ren bằng máy cán nê m ngang.....	101
5.3.1. Dập đầu mũ chi tiết.....	101
5.3.2 Cán chi tiết vít ren côn	101
5.4. Kiểm tra phá hủy chi tiết.....	103
5.5. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm	103
5.6. Kết luận.....	105
KẾT LUẬN.....	106
TÀI LIỆU THAM KHẢO	108

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

1. Kí hiệu	Diễn giải	Đơn vị
α, β, γ :	Góc tạo hình (góc nêm), góc áp lực, góc nâng	độ
L_1, L_2, L_3, L_4 :	Chiều dài các vùng: cắt, dẫn, tạo hình và định kích thước	mm
D_0, d :	Đường kính phôi trước và sau khi tạo hình	mm
Δr :	Lượng ép tuyệt đối	mm
δ :	Hệ số biến dạng	
X:	Hành trình của nêm cán	mm
R_t :	Bán kính phôi cán tại thời điểm bất kỳ	mm
S_0, S :	Diện tích mặt cắt ngang phôi cán trước và sau khi tạo hình	mm ²
E:	Mô đun đàn hồi của vật liệu	N/mm ²
F_{ms} :	Lực ma sát giữa phôi và khuôn nêm	N
v:	Tốc độ cán	mm/s
W:	Năng lượng biến dạng	J/m ³
A, B, C, n, m:	Các hệ số của mô hình thuộc tính Johnson- Cook	
T_{melt}, T_{room} :	Nhiệt độ nóng chảy của kim loại, nhiệt độ môi trường	độ C
$\bar{\epsilon}, \bar{\sigma}$:	Mức độ biến dạng tương đương, ứng suất tương đương	
$\dot{\epsilon}, \dot{\epsilon}_0$:	Tốc độ biến dạng và tốc độ biến dạng tham chiếu	1/s
$\bar{\epsilon}_f$:	Biến dạng tương đương tại thời điểm phá hủy vật liệu	
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$:	Các thành phần của ten xơ ứng suất	MPa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:	Các thành phần ứng suất pháp chính	MPa
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$:	Các thành phần của ten xơ biến dạng	
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$:	Các thành phần biến dạng chính	
$\sigma^* = \frac{\sigma_H}{\sigma_{eq}}$:	Chỉ số trạng thái ứng suất	
σ_H, σ_{eq} :	Ứng suất thủy tĩnh, ứng suất Von - Mises	MPa
D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 :	Các hệ số của mô hình phá hủy Johnson - Cook	
$\epsilon_r, \epsilon_a, \epsilon_t$:	Biến dạng theo hướng kính, hướng trục, hướng đứng	
R, a:	Bán kính, bán kính nhỏ nhất của mẫu thử phá hủy	mm
M_z :	Mômen xoắn	N.mm
L:	Chiều dài tổng của mẫu thử kéo	mm

l_c : Chiều dài phần làm việc của mẫu thử kéo	mm
l_0 : Chiều dài tính toán ban đầu của mẫu thử kéo	mm
l_1 : Chiều dài tính toán sau khi mẫu đứt của mẫu thử kéo	mm
d_1 : Đường kính nhỏ nhất của mẫu thử kéo sau khi đứt	mm

2. Chữ viết tắt

CNN: Cán nệm ngang
CNCNN: Công nghệ cán nệm ngang
QTCNN: Quá trình cán nệm ngang
MHTT: Mô hình thuộc tính
MHPH: Mô hình phá hủy
MHH: Mô hình hóa
MPS: Mô phỏng số
US: Ứng suất
BD: Biến dạng
PH: Phá hủy
KT: Khuyết tật
KTBM: Khuyết tật bề mặt
KTHD: Khuyết tật hình dạng
KTRT: Khuyết tật rỗng tâm
JC: Johnson – Cook
MHJC: Mô hình Johnson – Cook
pt: Phương trình

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Các biến trong mô hình phá hủy vật liệu	26
Bảng 3.1. Giá trị hệ số C phụ thuộc vào tốc độ biến dạng	39
Bảng 3.2. Giá trị hệ số D ₄ phụ thuộc vào tốc độ biến dạng.....	41
Bảng 3.3. Thành phần hóa học của thép C45	47
Bảng 3.4. Mẫu thí nghiệm R ở nhiệt độ môi trường	50
Bảng 3.5. Bảng kí hiệu thí nghiệm nhận dạng MHTT J-C.....	52
Bảng 3.6. Bảng kí hiệu thí nghiệm nhận dạng MHPH J-C	52
Bảng 3.7. Kết quả thí nghiệm và nhận dạng tại nhiệt độ 900 ⁰ C.....	57
Bảng 3.8. Kết quả thí nghiệm và nhận dạng tại nhiệt độ 1000 ⁰ C.....	58
Bảng 3.9. Kết quả thí nghiệm và nhận dạng tại nhiệt độ 1100 ⁰ C.....	59
Bảng 3.10. Bảng giá trị của hệ C	60
Bảng 3.11. Các thông số tính giá trị hệ số m.....	60
Bảng 3.12. Các hệ số của mô hình thuộc tính Johnson – Cook	61
Bảng 3.13. Kết quả thí nghiệm phá hủy	62
Bảng 3.14. Biến dạng của các mẫu xoắn tại thời điểm phá hủy.....	64
Bảng 3.15. Giá trị của hệ số D ₄	64
Bảng 3.16. Bảng giá trị xác định các hệ số của D ₅	64
Bảng 3.17. Các hệ số của mô hình phá hủy Johnson – Cook.....	65
Bảng 4.1. Các thông số hình học của nêm	83
Bảng 4.2. Tính chất cơ nhiệt của vật liệu chế tạo nêm cán	83
Bảng 4.3. Điều kiện mô phỏng.....	84
Bảng 4.4. Hệ số nhiệt của thép C45 ở nhiệt độ 1150 ⁰ C	85

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý công nghệ cán nê m ngang:	5
Hình 1.2. Quá trình cán nê m ngang chi tiết trục bậc	7
Hình 1.3. Sơ đồ lực tác dụng giữa kim loại và khuôn khi phôi ăn vào trục cán.....	8
Hình 1.4. Một số sản phẩm của công nghệ cán nê m ngang	10
Hình 1.5. Khuyết tật hình dạng sản phẩm	11
Hình 1.6. Khuyết tật bề mặt sản phẩm cán nê m ngang	12
Hình 1.7. Sản phẩm trục bậc	12
Hình 1.8. Khuyết tật thấ t của phôi cán nê m ngang.....	13
Hình 1.9. Khuyết tật hình dạng phôi cán nê m ngang	14
Hình 1.10. Khuyết tật định hướng dọc tâm phôi cán [34].....	17
Hình 1.11. Sự hợp nhất các lỗ trống trong quá trình phá hủy [48].....	17
Hình 1.12. Khuyết tật trong tâm phôi cán.	18
Hình 1.13. Phá hủy phôi trong quá trình cán nê m ngang	18
Hình 1.14. Sự hợp nhất các lỗ trống do ứng suất chính [48].....	19
Hình 2.1. Quá trình phá hủy vật liệu	24
Hình 2.2. Sơ đồ sự hình thành vết nứt do lệch tương tác với nhau	25
Hình 2.3. Phân tổ thể tích chứa khuyết tật.....	26
Hình 2.4. Đường cong ứng suất biến dạng của thép C45	27
Hình 2.5. Sự phụ thuộc của $\bar{\epsilon}_f$ vào chỉ số trạng thái ứng suất.....	31
Hình 2.6. Đường cong ứng suất biến dạng của thép C45	32
Hình 3.1. Mẫu tạo R và biến dạng theo các chiều	45
Hình 3.2. Biên dạng hình học của mẫu thử kéo	45
Hình 3.3. Sự phân bố nhiệt độ của mẫu thử kéo theo tiêu chuẩn ở 1200 ⁰ C.....	45
Hình 3.4. Mẫu thí nghiệm kéo ở nhiệt độ cao	51
Hình 3.5. Phân bố nhiệt độ của mẫu kéo tiêu chuẩn ở 1200 ⁰ C	48
Hình 3.6. Chế độ nung mẫu khi thực hiện thí nghiệm ở nhiệt độ 1200 ⁰ C	49
Hình 3.7. Đồ thị phân bố nhiệt độ trong ½ vùng làm việc của các mẫu kéo.....	49
Hình 3.8. Kích thước và hình dạng mẫu xoắn.....	51
Hình 3.9. Đồ thị phân bố nhiệt độ trong ½ vùng làm việc của các mẫu xoắn.....	49
Hình 3.10. Máy thử kéo nén (MTS)	52
Hình 3.11. Mẫu sau thí nghiệm kéo ở nhiệt độ thường.....	53
Hình 3.12. Mẫu sau thí nghiệm ở nhiệt độ cao.....	53
Hình 3.13. Đồ thị ứng suất – biến dạng khi thay đổi tốc độ biến dạng.....	54
Hình 3.14. Đồ thị ứng suất – biến dạng khi thay đổi nhiệt độ.....	55
Hình 3.15. Đồ thị ứng suất – biến dạng mẫu kéo nguội.....	56

Hình 3.16. Đồ thị xác định giá trị hệ số B và n	56
Hình 3.17. Đồ thị ứng suất và biến dạng tại các nhiệt độ khác nhau	60
Hình 3.18. Đồ thị xác định ảnh hưởng của nhiệt độ	61
Hình 3.19. Đồ thị lực – chuyển vị của các mẫu tạo R	61
Hình 3.21. Đồ thị quan hệ biến dạng tương đương- chỉ số trạng thái ứng suất	60
Hình 3.20. Đồ thị ứng suất tiếp – biến dạng trượt	63
Hình 3.21. Đồ thị xác định hệ số D5	65
Hình 3.22. Điều kiện biên và kết quả mô phỏng thí nghiệm kéo	65
Hình 3.23. Đường cong thực nghiệm - nhận dạng	66
Hình 3.24. Đường cong thực nghiệm - mô phỏng	67
Hình 3.25. Lưới phần tử và điều kiện biên R	68
Hình 3.26. Biến dạng của các mẫu R	68
Hình 3.27. Chỉ số thử kéo trước thời điểm đứt 0.1s	69
Hình 3.28. Chỉ số trạng thái ứng suất trong tâm mẫu	69
Hình 3.29. Thông số phá hủy Johnson – Cook	69
Hình 3.30. Phần tử kim loại bị xóa khỏi lưới	70
Hình 3.31. Đồ thị $\bar{\epsilon}_f - \sigma^*$ mô phỏng – thực nghiệm	69
Hình 4.1. Đường cong ứng suất – Biến dạng của vật liệu kim loại [63]	73
Hình 4.2. Mô hình hình học và mô hình phần tử hữu hạn của phôi cán	74
Hình 4.3. Biến dạng tương đương theo thời gian	75
Hình 4.4. Trạng thái ứng suất	75
Hình 4.5. Biến phá hủy vô hướng D	76
Hình 4.6. Hiện tượng phá hủy tâm phôi	76
Hình 4.7. Trạng thái ứng suất	77
Hình 4.8. Quá trình phá hủy tâm phôi	77
Hình 4.9. Các thành phần ứng suất của phần tử kim loại trong tâm phôi	78
Hình 4.10. Sự phân bố ứng suất kéo trong tâm phôi	78
Hình 4.11. Sự phân bố chỉ số trạng thái ứng suất	79
Hình 4.12. Sự phân bố biến dạng theo hướng kính	79
Hình 4.13. Sự phân bố biến dạng theo hướng ngang	79
Hình 4.14. Sự phân bố biến dạng tương đương	80
Hình 4.15. Biến dạng tương đương theo hướng chu vi	80
Hình 4.16. Chuyển vị của các phần tử kim loại	81
Hình 4.17. Biến phá hủy vô hướng Johnson – Cook	81
Hình 4.18. Kích thước phôi và chi tiết vít ren côn	82
Hình 4.19. Nêm trên và nêm dưới	82
Hình 4.20. Bản vẽ lắp nêm cán và phôi	83