

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET

Mihajlo D. Popović

PRILOG RAZVOJU METODA PROJEKTOVANJA I
OPTIMIZACIJE NOSEĆIH STRUKTURA PRESA ZA
FAZONSKO SAVIJANJE LIMOVA

Magistarska teza

Beograd 2001

Ključna dokumentacijska informacija

Redni broj	
RBR	
Identifikacioni broj	
IBR	
Tip dokumentacije	Monografska publikacija
TD	
Tip zapisa	Tekstualni štampani materijal
TZ	
Vrsta rada	Magistarska teza
VR	
Autor	Mihajlo D. Popović, dipl. maš. inž.
AU	
Mentor/Komentor	Prof. dr Milisav J. Kalajdžić
MK	
Naslov rada	PRILOG RAZVOJU METODA PROJEKTOVANJA I OPTIMIZACIJE NOSEĆIH STRUKTURA PRESA ZA FAZONSKO SAVIJANJE LIMOVA
NR	
Jezik publikacije	srpski
JP	
Jezik izvoda	srpski/engleski
JI	
Zemlja publikovanja	Jugoslavija
ZP	
Uže geografsko područje	Srbija
UGP	
Godina	2001
GO	
Izdavač	Autorski reprint
IZ	
Mesto i adresa	11000 Beograd, YU, 27. marta 80
MA	
Fizički opis rada (broj poglavlja/strana/lit.citata/slika/tabela/priloga)	6, 129+viii, 38, 86, 16, 5
FO	
Naučna oblast	Proizvodno mašinstvo
NO	
Naučna disciplina	Projektovanje nosećih struktura
ND	
UDK	621.97(043.2)
Predmetna odrednica / Ključne reči	presa, noseća struktura, optimizacija, naponi, pomeraji
PO	

Podaci o arhiviranju

PA

Napomena

NA

Izvod

IZ

Biblioteka Mašinskog fakulteta

11000 Beograd, 27. marta 80

Predmet teze je razvoj metoda projektovanja i optimizacije nosećih struktura presa za fazonsko savijanje limova. U cilju potpune automatizacije procesa projektovanja i optimizacije predložena je i primenjena integracija savremenih CAD/CAM/CAE sistema sa posebno razvijenim programom za optimizaciju nSopt. Prilikom projektovanja nosećih struktura polazi se od odgovarajućih proračuna, vodeći računa o konstruktivnim ograničenjima. Radom na tezi je obuhvaćen proračun naponskog stanja, deformacija i pomeraja kompjuterskog modela noseće strukture prese u uslovima statičkog opterećenja, metodom konačnih elemenata. Takođe je izvršena analiza uticaja promene geometrijskih veličina na proračunate, da bi se izvršila optimizacija variranjem geometrijskih veličina noseće strukture. Sa druge strane, na uočenim kritičnim mestima (mestima koncentracije napona) primenjena je optimizacija oblika, na osnovu proračuna metodom konačnih elemenata. U postupak optimizacije oblika je uključen princip rasta koji je prilagođen opterećenju i koji teži ujednačavanju napona, koji prirodne strukture (drveće, kosti...) koriste da smanje koncentraciju napona. Ovaj postupak optimizacije je poznat kao kompjuterska optimizacija, jer se kompjuterom simulira rast (dodavanje materijala) u uočenim oblastima. Eksperimentalnom verifikacijom je potvrđena opravdanost primene MKE i verodostojnost postavljenog kompjuterskog modela.

29/06/2000

/11/2001

Predsednik

prof. dr Ratko Gatalo

FTN, Novi Sad

Članovi

prof. dr Miloš Glavonjić

prof. dr Milisav Kalajdžić, mentor

Mašinski fakultet, Beograd

Datum prihvatanja teze

DP

Datum odbrane

DO

Komisija

Key Words Documentation

Accession number	
ANR	
Identification number	
INR	
Document type	Monographic publication
DT	
Type of record	Textual material printed
TR	
Content code	Master of Science thesis
CC	
Author	Mihajlo D. Popovic, B.Sc. Mech. Eng.
AU	
Mentor/Comentor	Professor Dr Milisav J. Kalajdzic, Ph. D
MC	
Title	THE CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT OF PRESS BRAKE FRAMES DESIGN AND OPTIMIZATION METHOD
TI	
Language of text	serbian
LT	
Language of abstract	serbian / english
LA	
Country of publication	Yugoslavia
CP	
Locality of publication	Serbia
LP	
Publication year	2001
PY	
Publisher	Author's reprint
PU	
Publication place	11000 Belgrade, YU, 27. marta 80
PP	
Physical description (chapter/page/literature/pictures/tables/add.lists)	6, 129+viii, 38, 86, 16, 5
PD	
Scientific fields	Production engineering
SF	
Scientific discipline	Machine tool frames design
SD	
UDK	621.97(043.2)
Subject / Key words	Forming machine, Frames, Optimization, Stress, Displacement
KW	

Holding data

HD

Note

NO

Abstract

IZ

Library of Mechanical Engineering
Faculty, 11000 Belgrade, 27.marta 80

The subject of thesis is development of press brake frames design and optimization method. For purpose of complete automatization of design and optimization process, applied integration of contemporary CAD/CAM/CAE systems is suggested together with specially developed program for optimization - nSopt. Machine tool frames design is based on appropriate calculation regarding constructive limitations. Working on the thesis comprises calculation of the stress state, as well as strain and displacement concerning computer model of the frame of press brake in static load conditions by Finite Element Analysis. In addition, analysing of the impact of changes of geometry value on calculating ones is performed in order to accomplish optimization by varying geometry values of the frame. On the other hand, based on computational results provided by Finite Element Analysis, shape optimization is applied on noticeable critical points (stress concentration points). The optimization process includes the principle of adaptive growth which is load adjusted and which tends to achieve constant stress, used by biological structures (trees, bones...) to minimize stress concentrations. This optimization procedure is known as Computer Optimization because the computer simulates the growth (adding material) in particular areas. Experimental verification confirms justified application of Finite Element Analysis as well as the established computer model credibility.

Accepted by the Scientific board on
ASB

Thesis defense day

TD

Thesis defended board

29/06/2000

/11/2001

Chairman

prof. dr Ratko Gatalo

FTN, Novi Sad

Members

prof. dr Miloš Glavonjić

prof. dr Milisav Kalajdžić, supervisor

Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade

Predgovor

Ovaj rad je nastao u Centru za nove tehnologije, Katedre za proizvodno mašinstvo na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Koristim ovu priliku da izrazim svoju zahvalnost svima koji su mi nesebično pomogli.

Zahvalio bih se članovima komisije, posebno mentoru prof. dr Milisavu Kalajdžiću koji mi je svojim saznanjima, sugestijama i predlozima pružio svesrdnu stručnu i moralnu pomoć.

Eksperimenti su obavljani u Zavodu za mašine alatke na presi PPT40/2000 fabrike Jelšingrad iz Banja Luke pa ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su to omogućili. Mr Branko Kokotović je pružio dragocenu pomoć u svim fazama izvođenja eksperimenata.

Takođe, zahvalnost dugujem i mr Slobodanu Popoviću, dr Slobodanu Lazareviću i Ivani Trpković za pomoć pruženu pri prevođenju literaturnih izvoda sa nemačkog i engleskog jezika.

Kolegi Miroslavu Jovkoviću upućujem zahvalnost na nesebičnoj pomoći prilikom testiranja programa za MKE.

Realizovana aplikacija za kompjutersku optimizaciju je bazirana na ograničenim verzijama programa koje sam dobio od firme FEMComp, Švedska.

Na kraju bih se, za neizmerno razumevanje i podršku tokom izrade rada, zahvalio mojoj porodici.

M. Popović

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Proces projektovanja	1
1.2	Proces optimizacije u odnosu na konvencionalni proces projektovanja	2
1.3	Cilj i sadržaj rada	3
2	Obradni sistem za obradu metala plastičnim deformisanjem	5
2.1	Osnovne metode obrade	6
2.2	Osnovni elementi obradnih sistema	7
2.2.1	Proces obrade savijanjem	8
2.3	Prese	13
2.3.1	Oblici nosećih struktura presa	13
2.4	Hidraulična presa za fazonsko savijanje lima	15
2.4.1	Tehničke karakteristike hidraulične prese PPT 40/2000	16
2.4.2	Podsistem materijala noseće strukture prese	17
2.5	Standardizovane procedure ispitivanja presa	17
2.6	Specifičnosti noseće strukture hidrauličke prese za fazonsko savijanje lima	18
3	Modeliranje noseće konstrukcije prese metodom konačnih elemenata	20
3.1	Sistem modela	20
3.1.1	Modeliranje noseće strukture hidraulične prese PPT 40/2000	21
3.2	Osnovne karakteristike korišćenog softvera	21
3.2.1	Programi za proračun metodom konačnih elemenata	22
3.3	Kompjuterski model prese	26
3.4	Uprošćeni model noseće strukture prese	26
3.5	Opterećenje i ograničenja	27
3.6	MKE model	28
3.6.1	Bočna stranica prese	29
3.7	Rezultati proračuna	30
3.7.1	Naponska slika	30
3.7.2	Identifikacija elastičnih pomeraja pritiskivača i stola	31
3.7.3	Naponsko stanje i pomeraji stranice prese	33
4	Eksperimentalna identifikacija ponašanja noseće strukture prese	35
4.1	Uvodna razmatranja	35
4.2	Elektrootporne merne trake	35
4.2.1	Karakteristike mernih traka	37
4.2.2	Vrste mernih traka	38
4.2.3	Određivanje glavnih deformacija ε_1 i ε_2 na osnovu izmerenih deformacija dužbaze mernih traka	40
4.3	Merenje pomeraja	42

4.4	Merenje pritiska	42
4.5	Eksperimentalna organizacija ispitivanja prese	42
4.5.1	Položaj mernih traka	43
4.5.2	Pretvarač pritiska	46
4.5.3	Pretvaračputa (pomeraja)	47
4.5.4	Pojačivači mernih signala	48
4.5.5	Analogni priključni panel	50
4.5.6	PC-modul za akviziciju podataka	50
4.5.7	Kompjuterska podrška	51
4.6	Faze izvođenja eksperimenta	51
4.6.1	Plan eksperimenta	51
4.7	Obrada eksperimentalnih rezultata	53
4.7.1	Tumačenje izlaznih rezultata	53
4.7.2	Rezultati merenja relativnih deformacija	55
4.7.3	Rezultati merenja ugiba stola	56
4.8	Analiza dobijenih rezultata	61
5	Optimizacija „grla” stranice prese	63
5.1	Uvodne napomene	63
5.2	Priroda kao učitelj	64
5.3	Teorijska razmatranja	66
5.3.1	Komercijalni programi	69
5.4	Pronalaženje optimalnog oblika stranice prese	71
5.5	Kompjuterska optimizacija (Computer Aided Optimization - CAO)	77
5.5.1	Postupak kompjuterske optimizacije u okruženju <i>Pro/Mechanica-e</i>	80
5.5.2	Razvijeni program za automatizaciju postupka optimizacije	81
5.6	Zaključne napomene	84
6	Zaključak	89
A	Naponi i deformacije	98
A.1	Naponi	98
A.2	Deformacije	99
A.2.1	Međusobna zavisnost napona i deformacija u granicama elastičnosti	100
A.3	Koncentracija napona	101
B	Uvod u metod konačnih elemenata - MKE	102
B.1	Osnove na kojima se zasniva MKE	102
B.1.1	Algoritamski koncept MKE	104
B.2	Metoda deformacija	104
C	Tehnički podaci korišćene opreme	106
D	Podешavanje softvera ”Labtech Notebook”	115
E	Listing programa za optimizaciju <i>nSopt</i>	121