

**СИМУЛАЦИЈЕ ВАЉАЊА ПРСТЕНАСТИХ ЕЛЕМЕНАТА ВЕЛИКИХ ДИМЕНЗИЈА
RING ROLLING SIMULATIONS OF ELEMENTS WITH LARGE DIMENSIONS**Марко Уљаревић, Младомир Милутиновић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - МАШИНСТВО**

Кратак садржај - *Технологија ваљања прстенова је веома заступљена и користи се за израду радних предмета широког спектра димензија, облика и материјала. У оквиру овог рада приказан је део пројектовања технолошког поступка израде прстеновог радног предмета великих димензија, процесом радијалног ваљања у топлом стању, који се односи на симулација самог процеса и оптимизацију претходно прорачунатих параметара.*

Кључне ријечи - *Нумеричке симулације, ваљање прстенова, топло ваљање, ковање*

Abstract - *Ring rolling technology is widely used in the manufacture of part of various dimensions, shapes, and materials. This paper presents a part of the design procedure of technology for producing of large-sized rings by the process of radial rolling in a hot, which includes the process simulation and optimization of previously calculated parameters.*

Keywords: *Numerical simulations, ring rolling, hot rolling, forging.*

1. УВОД

Метода ваљања прстенова се користи за производњу бешавних прстенова од различитих материјала у широком спектру димензија. Најчешће се користи за израду челичних прстенова, али се такође користи за легуре алуминијума, легуре титанијума, композитне металне прстенове и полимере. Ваљање прстенова спада у континуалне процесе инкременталног деформисања, код кога се помоћу система ваљака (равних или профилисаних) обликује припремак облика шупљег дебелозидног прстена на начин да се његов пречник повећава уз истовремено смањење дебљине [1].

Предности ваљања прстенова укључују: кратко вријеме производње, ефикасну употребу материјала, уједначен квалитет, глатке површине и блиске геометријске толеранције које доводе до значајних уштеда енергије и рада.

Област примјене методе ваљања прстенова је врло широка, неки од најзаступљенијих производа су:

- Прстенови котрљајних лежачева,
- Прстенасти елементи кућишта (силоси, ракете, реактори),
- Прирубнице и слични елементи,
- Точкови за шинска и друга возила [1].

У склопу овог рада дат је приказ могућности примене нумеричких симулација за пројектовање процеса радијалног ваљања у топлом стању. На самом почетку описани су поступци ваљања прстенова и дате најважније карактеристике ове технологије

Симулација процеса ваљања прстена је извршена у софтверу Simufact Forming, и базирана је на методи коначних елемената. Метода коначних елемената спада у методе дискретне анализе. Заснива се на дискретизацији (подјели), простора на више коначних елемената. Коначни елементи могу бити различитог облика: троугао, квадрат, хексаедар и слично, они заједно чине мрежу коначних елемената [3].

У случају обраде ваљањем допринос симулација се огледа у следећем:

- Смањење времена развоја производа,
- Боље искоришћење машина,
- Боље разумијевање процеса,
- Оптимизација процеса и избјегавање грешака и уштеда материјалних средстава.

2. ПРИКАЗ ТЕХНОЛОГИЈЕ ВАЉАЊА

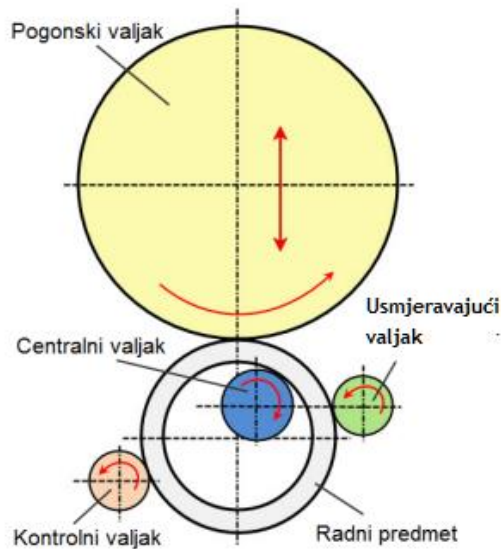
Технологија ваљања прстенова може се поделити на две методе, а то су радијално и радијално-аксијално ваљање. На слици 2.1 дат је приказ шеме радијалног ваљања, процеса који је анализиран у склопу овог рада. Код ове методе користе се два (основна) ваљка, а то су: унутрашњи ваљак који врши обртање око своје осе али и транслаторно кретање ка великом ваљку, који је непомичан у радијалном правцу и само врши обртно кретање, супротно од малог ваљка. На тај начин долази до деформације радног предмета и редукације дебљине зида. Поред поменутих ваљака, у различитим изведбама машина за радијално или радијално-аксијално ваљање, углавном фигуришу и два помоћна ваљка, контролни ваљак и усмјеравајући ваљак, који имају функцију одржавања тачности геометрије радног комада, а немају функцију у деформисању истог [2].

Други тип ваљања представља радијално-аксијално ваљање, гдје поред редукације дебљине зида, имамо и

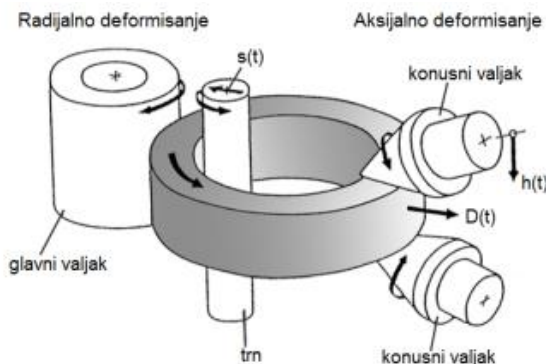
НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Младомир Милутиновић ванр. проф.

редукцију висине радног предмета помоћу два додатна ваљка која дјелују у аксијалном правцу обртањем око своје осе и трансляторним кретањем један ка другом (Слика 2.2) [1].



Слика 2.1 Шема радијалног ваљања [1]



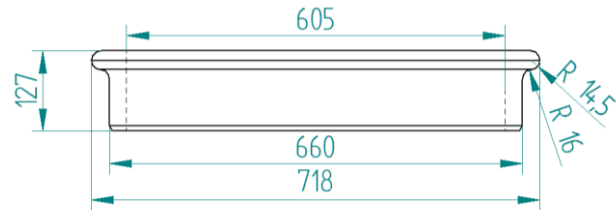
Слика 2.2 Шема радијално - аксијалног ваљања [1]

3. СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ВАЉАЊА

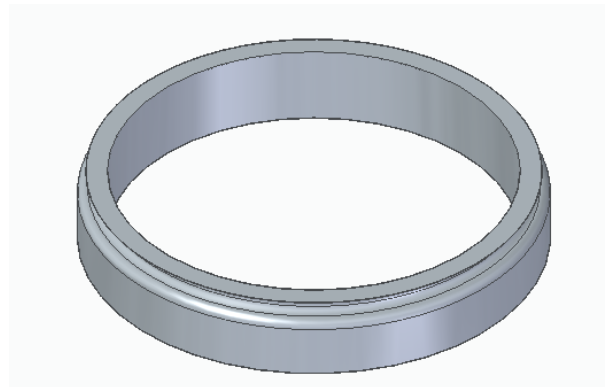
Simufact Forming је један од реномираних софтвера за симулације процеса обликовања и спајања материјала, који је базиран на принципима методе коначних елемената и методе коначних запремина, о чему је било ријечи у уводном дијелу текста. *Simufact* омогућава извођење 2D и 3D симулација. У склопу овог рада биће приказана 3D симулација радијалног ваљања, како би добили готов производ. У наставку текста дат је приказ генерисања симулације процеса ваљања као и анализа резултата. На слици 3.1 дат је приказ коначног изгледа радног комада са задатим димензијама [3].

На основу аналитичког прорачуна извршен је избор параметара процеса који су коришћени у симулацији. Такође је на основу геометрије радног предмета извршен дизајн и моделовање алата за ваљање, а то су контурни и унутрашњи ваљак. На слици 3.2 дат је

приказ контурног ваљка који има комплементарну контуру профилу радног предмета.



Слика 3.1 Приказ готовог производа



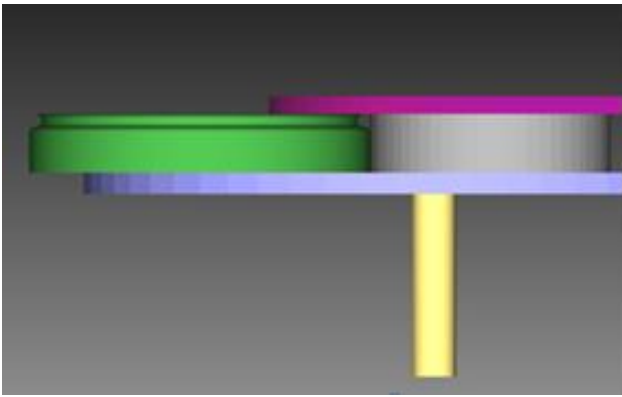
Слика 3.2 Приказ контурног (спољашњег) ваљка

По завршетку моделовања потребних алата, извршени су увоз геометрије и дефинисање потребних параметара у софтверу *Simufact Forming*.

Након покретања програма, првобитно бирамо опцију за симулацију процеса ваљања прстена (Ring rolling), гдје нам аутоматски софтвер нуди да изаберемо број алата који се користе, тип нумеричке методе прорачуна, која је у датом случају, метода коначних елемената, амбијенталну температуру и одабир између хладне и топле обраде, гдје се бира топла обрада, пошто се процес одвија изнад температуре рекристализације.

У случају ваљања прстена, температура коју користимо за задати материјал (EN42CrMo4) је 1240°C, док је температура алата 150-200°C

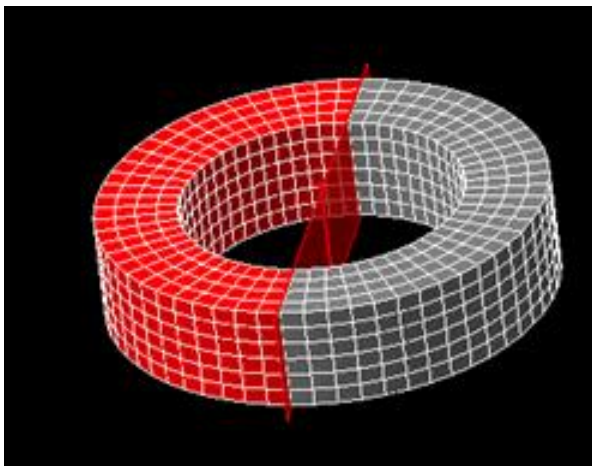
На слици 3.3 дат је приказ позиционираних алата и радног предмета, гдје су приказана 4 алата, односно два алата у виду унутрашњег и спољашњег ваљка, дно и граничник који врше функцију стола пресе и дијела који спријечава помјерање радног предмета у аксијалном правцу у току процеса. У фази препроцесирања генерисан је одговарајући 3D модел припрема што је између осталог подразумевало усвајање материјала (EN42CrMo4) радног предмета температуре обраде, мреже коначних елемената и критеријума премрежавања (Remeshing criteria-Ringmesh). Ваљцима је задата температура од 150 °C, док дно и граничник имају задату температуру од 200 °C.



Слика 3.3 Приказ позиционираних алата са радним предметом

Поред температуре, јако битан параметар представља трење. У симулацији је коришћен модел аутоматског избор модела трења, код кога се дефинише квалитет подмазивања тј. коефицијенти подмазивања између елемената, а солвер аутоматски прорачунава коефицијент трења преко једне од три опције као што су (Coulumb, Shear, Combined). Усвојени су следећи коефицијенти подмазивања: велики ваљак 0,8 процената што представља лошије подмазивање, док за мали ваљак задајемо 0.2, а дно и граничник имају максималну вриједност подмазивања, фактор трења нула.

Након одабира модела трења, извршено је дефинисање машине, која ради на принципу табеларног уношења података за двије врсте кретања, а то су ротација и транслација, гдје су унијете вриједности добијене претходним прорачуном. Избором машине комплетирана је фаза пре-процесирања МКЕ модела и следећем кораку је покренута симулација. На слици 3.4. дат је приказ припремка за ваљање са генерисаном мрежом коначних елемената.



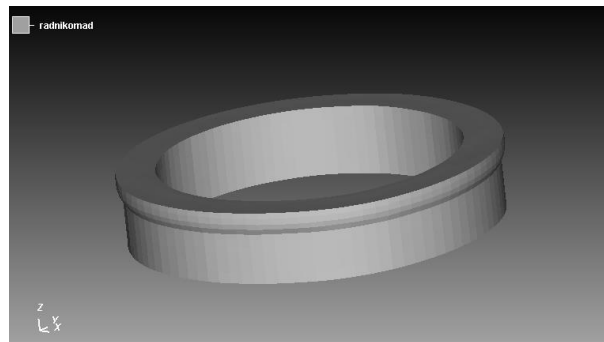
Слика 3.4 Приказ припремка са мрежом коначних елемената

4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈА

У склопу резултата добија се увид у промјену температурног поља радног предмета, контактни притисак, 3D приказ напрезања, као и приказ пластичне деформације и тока материјала. Оно што је

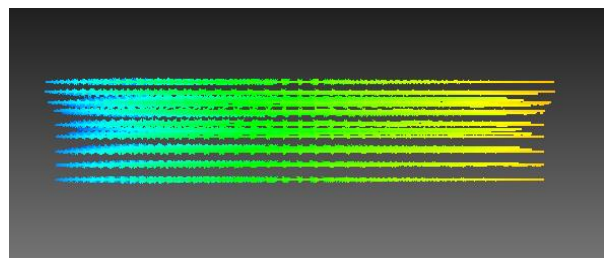
најбитнији резултат јесте, промјена геометрије односно приказ течења и деформисања материјала. На слици 4.1 дат је приказ коначног облика радног предмета након 9 секунди обраде ваљањем.

Постигнута је редукација дебљине зида припремка и повећање пречника на одговарајуће димензије. Увидом у резултате симулације примјећује се да није дошло до комплетног попуњавања шупљине алата, односно контуре спољашњег ваљка, па самим тим немамо савршен профил радног предмета са спољашњим жљебом на врху радног предмета.



Слика 4.1 Приказ радног предмета са краја симулације

На слици 4.2 дат је приказ течења материјала у току процеса ваљања.



Слика 4.2 Приказ течења материјала

Анализом више симулација овог процеса, установљено је приближно поклапање добијених резултата, у погледу дужине трајања процеса са онима добијеним у аналитичком прорачуну.

Као што је речено у уводном дијелу текста, симулације процеса обраде нам омогућавају боље разумијевање датог процеса обраде. Након прве симулације изведен је закључак да се радни предмет деформисао до величине крајњег задатог пречника у склопу прорачунатог времена, али да је дошло до непотпуног развоја профила обрадка, у погледу стварања комплетног радијусног дијела на врху радног предмета. Стога је извршена још једна симулација, гдје су смањене димензије радног предмета, како би успјешили попуњавање контуре спољашњег ваљка.

Симулација са редукованим димензијама није довела до значајног побољшања попуњавања контуре. Дошло је до удвостручавања времена трајања обраде као и већег потхлађења радног предмета што лоше утиче на процес деформисања. Стога су извршене додатне

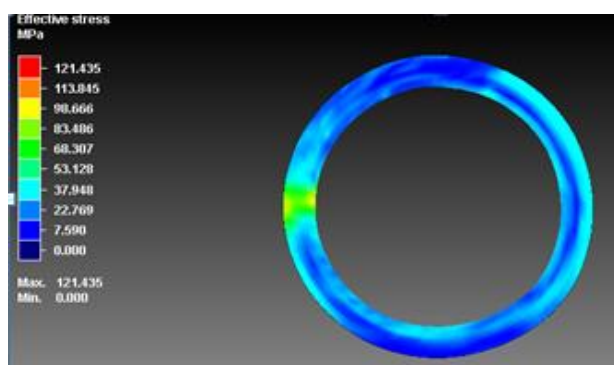
симулације са различитим параметрима процеса ваљања који су приказани у табели 4.1.

На крају су усвојене оптималне димензије припремка: **Dp=360 mm** и спољашњи пречник прстенастог припремка (**D0 = 570 mm**), висина (**H = 133mm**).

PomakΔh [mm/ob]	Vrijeme obrade [s]	Sila [kN]	Moment [Nm]	Snaga [kW]	
1	v=1m/s	9	283.2	2656.5	42.7
	v=0.7m/s	12	198.3	1859.6	29.9
	v=0.5m/s	18	141.6	1328.3	21.4
2	v=1m/s	5	403.6	5342.3	85.9
	v=0.7m/s	1	281.1	3739.5	60.1
	v=0.5m/s	10	200.8	2671.2	42.9

Табела 4.1 Приказ параметара процеса

На слици 4.3 дат је приказ напона у радном комаду на крају процеса обраде, одакле се јасно види положај зоне пластичног деформисања у мјесту додира ваљака.



Слика 4.3 Распоред напона у обрадку

5. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе литературе и резултата симулација изведени су следећи закључци у погледу предности и мана технологије ваљања прстенова.

Неки од главних недостатака су:

- Појава грешака у геометрији (одступање од кружности, таласање, радијална удубљења),
- Лоше попуњавање алата при профилном ваљању, радни комад тежи деформисању у правцу ширења пречника,
- Немогућност израде прстенова са сложенијом геометријом.

Сви претходно поменути изазови делимично се могу решити повећањем масе тј. дебљине зида прстенастог

припремка у процесу ваљања. Међутим, са повећањем дебљине зида припремка продужава се процес ваљања, јављају се већи топлотни губици и веће је оптерећење на ваљке.

Софтвери попут *Simufact.forming-a* значајно олакшавају пројектовање и оптимизацију технолошког поступка процеса ваљања прстенова. Нумеричке симулације дају прилику конструкторима за превазилажење различитих изазова и грешака у процесу пројектовања прије самог покретања производње што између осталог омогућава знатне уштеде у времену и новцу.

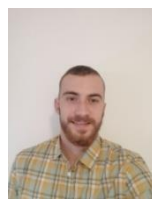
6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Mladimir Milutinović, Milija Krašnik: *Nekonvencionalni postupci obrade plastičnim deformisanjem*, 2019

[2] Julian M. Allwood, A. Erman Tekkaya, Timothy F. Stanistreet, *The Development of Ring Rolling Technology*, 2005.

[3] Mandić V., *Fizičko i numeričko modeliranje procesa obrade deformisanjem*, 2012

Кратка биографија:



Марко Уљаревић рођен је у Требињу 1999. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука у Новом Саду, из области Машинства- Производно машинство, одбранио је 2022 год.



Младомир Милутиновић рођен је у Ариљу 1967 год. Докторску дисертацију одбранио је 29. маја 2013. године на Факултету техничких наука у Новом Саду. У звање доцента изабран 24.10.2013. Аутор и коаутор преко 120 научних и стручних радова. Аутор универзитетског уџбеника и практикума лабораторијских вежби. Учествовао у реализацији већег броја научно-истраживачких пројеката.