

ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА ИЗРАДЕ ПРОИЗВОДА НА БАЗИ ПРАВИЛА ПРЕТХОЂЕЊА ЗАХВАТА ОБРАДЕ**PROCESS PLANNING OPTIMIZATION OF PRODUCT MANUFACTURING BASED ON MACHINING OPERATION PRECEDENCE**Марко Кљуновић, Дејан Лукић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – МАШИНСТВО**

Кратак садржај – Основни предмет истраживања у овом раду односи се на оптимизацију технолошког процеса израде производа применом правила претхођења захвата обраде. За реализацију овог задатка, на производу су дефинисани типски технолошки облици, изабрани су алати за обраду производа и вршена је симулација обраде применом CAD/CAM софтвера. Примењујући правила претхођења захвата обраде одређено је осам варијанти редоследа захвата обраде производа. Резултати симулације израде производа показали су оптималну варијанту са аспекта производности.

Кључне речи: Оптимизација технолошког процеса, Претхођење захвата обраде, Типски технолошки облици, CAD/CAM симулација израде.

Abstract – The main subject of this paper is process planning optimization of product manufacturing based on machining operation precedence. In this paper machining features are defined, cutting tools are chosen and machining process is simulated using CAD/CAM software. Eight variants of processes are determined according to the machining operation precedence. Machining simulation shows optimal variant based to the productivity.

Keywords: Process planning optimization, Machining operation precedence, Machining features, CAD/CAM machining simulation.

1. УВОД

Време и трошкови израде су најбитнији критеријуми оптимизације у производном систему. Могућност смањења времена производње доприноси већој конкурентности на тржишту због нижих трошкова производње и опстанку производног субјекта у економском смислу. Краће време израде одређеног производа, уз задржан квалитет и поузданост у раду, омогућује и повећање квантитета производа. Један од најпоузданијих начина смањења времена и трошкова је оптимизација технолошког процеса израде производа. Анализа технологичности конструкције производа, избор припремка, систематизација површина на производу, усвајање врста и редоследа операција и захвата, избор производних ресурса и параметара обраде су фазе у пројектовању технолошких процеса на које сваки технолог мора да обрати пажњу.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Дејан Лукић, ванр. проф.

Варирањем наведених елемената добијају се различити резултати технолошког процеса, који могу да се анализирају и донесу закључци о излазном квалитету. Стога, пројектовање технолошког процеса има велику улогу у постизању циља оптимизације.

Најважнији улазни подаци за пројектовање технолошких процеса су 2D цртежи и/или 3D модел производа, подаци о обиму производње у одређеном временском периоду, подаци о расположивим производним ресурсима, као и други техноекономски захтеви. Резултат пројектовања технолошких процеса представља технолошка документација и информације неопходне за планирање и управљање производњом, као и сам процес производње [1].

Варијантност операција и захвата, поред припремка чини простор одлучивања при пројектовању технолошког процеса, који се одређује у три осе. Прва оса се односи на избор фаза, односно варијанти и редоследа операција, друга оса на избор варијанти структуре операција, а трећа оса на избор варијанти технолошког процеса производње [2].

Основни предмет истраживања у овом раду односи се на оптимизацију технолошког процеса израде производа-полуге применом правила претхођења захвата обраде и CAD/CAM симулације.

2. ПРАВИЛА ПРЕТХОЂЕЊА ЗАХВАТА ОБРАДЕ

У оквиру пројектовања технолошких процеса применом прилаза који се базира на *feature* технологијама постоје два основна задатка:

- Избор и дефинисање могућих захвата обраде издвојених типских облика/површина за обраду; и
- Одређивање оптималног редоследа извођења захвата.

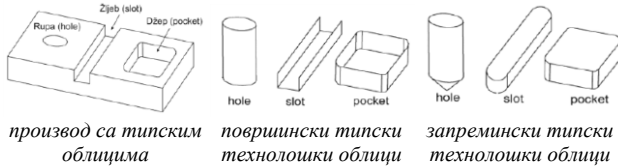
Први задатак, избор захвата, базиран је на геометрији типских облика, технолошким захтевима у погледу њихове обраде, расположивим машинама, алатима, приборима и другим ресурсима, као и могућим правцима прилаза алата, а у другом задатку морају да се задовоље техничка (конструкциона и технолошка) и економска ограничења задата техничком документацијом и другим условима производње.

2.1. Дефинисање типских облика

Према начину представљања производа, типски технолошки облици се деле на:

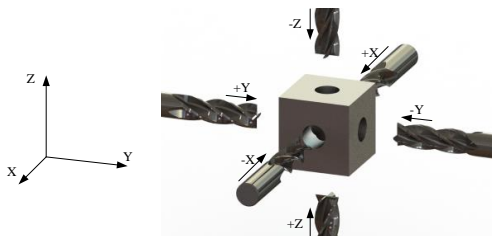
- површински типски технолошки облици (*surface manufacturing feature*), за гранично представљање производа, познатије и као *B-rep*, и
- запремински типски технолошки облици (*volumetric manufacturing feature*), за представљање производа солид моделом или *CSG*.

На слици 1 илустрован је пример који приказује производ који је пројектован помоћу типских облика и за који су дефинисани површински и запремински типски технолошки облици за његову израду.



Слика 1 Површински и запремински типски технолошки облици производа [1, 3]

Посматрајући како поједини типски технолошки облици изгледају, условно речено, могуће је доћи до закључка о облику, геометрији и правцу прилаза алата који је намењен за обраду датог типског технолошког облика. Правац прилаза алата (*Tool Approach Direction - TAD*) може да се дефинише као правац којим алат може да оствари контакт с тим обликом да би реализовао захват. Код обраде призматичних делова укупно се користи шест правца прилаза алата, то су +X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z. Треба узети у обзир и ограничења која се јављају током обраде. Узрок тих ограничења, у већини случајева, представља геометрија алата и предмета обраде. Пример правца прилаза алата приказан је на слици 2.



Слика 2. Правци прилаза алата

2.2. Правила приоритета извођења захвата

Правила приоритета извођења захвата се дефинишу на основу техничких и економских ограничења [4]. Постоје четири претхођења која се узимају у обзир:

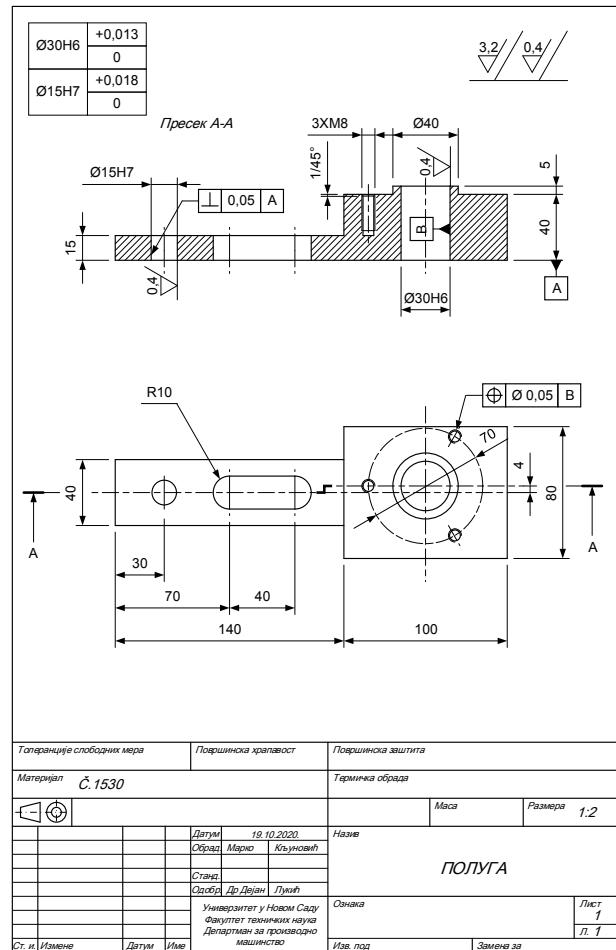
1. Димензионо претхођење – за ово правило важи да се пре неке површине обрађује површина у односу на коју је посматрана површина димензионисана, а приоритет имају површине димензионисане у односу на базу. Ово претхођење је везано за котирање, односно димензионисање делова.
2. Геометријско претхођење - односи се на површину на коју је дефинисана толеранција положаја неке друге површине, па та има приоритет при обради. Ово претхођење је везано за толеранције положаја, односно међусобне односе површина и оса.
3. Технолошко претхођење - редослед обраде треба да буде технологичан. Ово ограничење се најчешће односи на правила редоследа извођења захвата типског технолошког облика који се

обрађује са више захвата (нпр. груба пре полузавршне, а она пре завршне обраде).

4. Економско претхођење - односи се пре свега на смањење трошкова и времена обраде, што конкретно значи: краће време захвата, краћа помоћна времена, смањење трошкова алата, итд.

3. ОПТИМИЗАЦИЈА ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА ИЗРАДЕ ПОЛУГЕ

У овом поглављу приказан је поступак примене правила претхођења захвата обраде у оптимизацији технолошког процеса израде полуге (слика 3), чији обим производње је 1500 ком./сер.



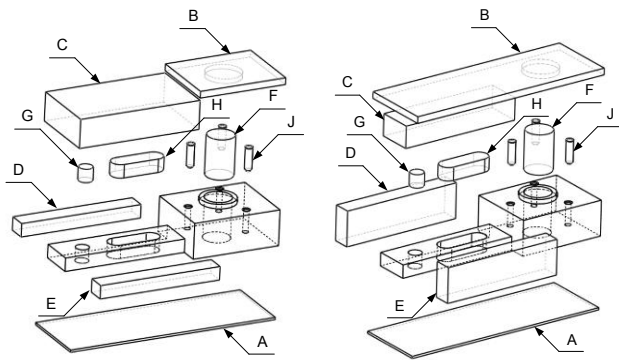
Слика 3. Радионички цртеж полуге

Усвојени припремак је топло ваљани призматични одсечак, димензије 240 x 80 x 50 mm од угљеничног челика С45, односно Џ.1530.

3.1. Дефинисање типских облика и препорука захвата и алата за обраду дела

На самом почетку примене ове методе извршено је препознавање и издвајање типских технолошких облика. Ознаке типских облика означени су на делу, слика 4, док је дефинисање назива и спецификације типских облика дато у табели 1.

На основу издвојених типских облика дефинисане су могуће варијанте захвата обраде. Ознаке резних алата за поједине захвате обраде дате су у табели 2. Подаци о алатима су преузети из каталога резног алата произвођача „Sandvik Coromant“ [5-8].



Слика 4. Ознаке издвојених типских облика за две варијанте технолошког процеса обраде

Табела 1. Опис издвојених типских облика

Типски облик	Назив	Димензије типског облика [mm]	Квалитет површина	Тол. облика и положаја
A	Равна хоризонтална површина	240 x 80 x 2,5	N8	База А
B	Степеник	100 x 80 x 7,5 √ 240 x 80 x 7,5 са круж. степеником	N8	-
C	Степеник	140 x 80 x 32,5 √ 140 x 40 x 25	N8	-
D	Степеник	140 x 20 x 15√ 140 x 40 x 20	N8	-
E	Степеник	140 x 20 x 15√ 140 x 40 x 20	N8	-
F	Цилиндрични отвор	Ø30H6 x 45	N5	База В
G	Цилиндрични отвор	Ø15H7 x 15	N5	\perp 0,05 A
H	Жлеб	60 x 20 x 15	N8	-
J	Унутрашњи навој (3. ком.)	3x M8 x 20 са упустом 1/45°	N8	\oplus 0,05 B

Табела 2. Ознаке резних алата за обраду

Ознака алата	Назив алата	Спецификација алата
T01	Глава за глодање Ø100mm	345-100C8-13M
T02	Вретенасто глодало Ø20mm	1P330-2000-XA 1620
T03	Бургија са механички причвршћеним резним плочицама Ø28 mm	880-D2800L32-02
T04	Проширивач Ø29,8 mm	BR20-36CC06F-EH25
T05	Развртач Ø29,95 mm	825-36TC06-EH25
T06	Развртач Ø30H6 mm	825-36TC06-EH25
T07	Бургија Ø13 mm	460.1-1300-039A1-XM GC34
T08	Бургија Ø14,8 mm	460.1-1480-044A1-XM GC34
T09	Развртач Ø14,95 mm	435.T-1500-A1-XF H10F
T10	Развртач Ø15H7 mm	435.T-1500-A1-XF H10F
T11	Бургија Ø19 mm	460.1-1900-057A1-XM GC34
T12	Глодало Ø18 mm	1P330-1800-XA 1620
T13	Бургија Ø6,8 mm	460.1-0680-034A1-XM GC34
T14	Упуштач 1/45°	1C050-0150-045-XA 1620
T15	Урезник M8	E207M8

Након што су одређени захвати обраде и изабрани алати за обраду, захватима обраде су додељени алати, као и смер приласка предмету обраде (TAD), како је приказано у табели 3.

Табела 3. Дефинисани захвати, алати и смер приласка алата при обради

Типски облик	Захват	Алат	TAD
A	Грубо равно чеono глодање (OP1)	T01, T02	+Z
	Фино равно чеono глодање (OP2)	T02	+Z
B	Грубо глодање степеника (OP3)	T01, T02	-Z
	Фино глодање степеника (OP4)	T02	-Z
C	Грубо глодање степеника (OP5)	T01, T02	-Z
	Фино глодање степеника (OP6)	T02	-Z
D	Грубо глодање степеника (OP7)	T02	-Y
	Фино глодање степеника (OP8)	T02	-Y
E	Грубо глодање степеника (OP9)	T02	+Y
	Фино глодање степеника (OP10)	T02	+Y
F	Бушење отвора (OP11)	T03	+Z, -Z
	Проширивање отвора (OP12)	T04	+Z, -Z
	Грубо развртање отвора (OP13)	T05	+Z, -Z
	Фино развртање отвора (OP14)	T06	+Z, -Z
G	Бушење отвора (OP15)	T07	+Z, -Z
	Проширивање отвора (OP16)	T08	+Z, -Z
	Грубо развртање отвора (OP17)	T09	+Z, -Z
	Фино развртање отвора (OP18)	T10	+Z, -Z
H	Бушење отвора (OP19)	T11	+Z, -Z
	Грубо глодање жлеба (OP20)	T12	+Z, -Z
J	Бушење рупе (OP21)	T13	-Z
	Упуштање (OP22)	T14	-Z
	Урезивање навоја (OP23)	T15	-Z

Анализирајући смерове приласка алата, уочено је да се издвајају четири карактеристична смера приласка алата која одговарају странама призматичног припрема. На основу тога може да се закључи да је потребно четири стежања обратка у току обраде овог машинског дела.

3.2. Редослед захвата обраде и варијанте технолошког процеса обраде дела

Правила димензионих, геометријских, технолошких и економских претхођења приказана су у табели 4. На основу релација претхођења захвата обраде формирана је матрица претхођења захвата обраде, како је приказано на слици 5.

Табела 4. Релација претхођења захвата обраде

Захвати	Претходни захвати			
	Димензионо	Геометријско	Технолошко	Економско
OP1				
OP2			OP1	
OP3				
OP4			OP3	
OP5				
OP6			OP5	
OP7				
OP8			OP7	
OP9				
OP10			OP9	
OP11				
OP12			OP11	
OP13			OP12	
OP14			OP13	
OP15		OP2		OP5
OP16		OP2	OP15	
OP17		OP2	OP16	
OP18		OP2	OP17	
OP19				OP5
OP20			OP19	
OP21	OP11	OP14		
OP22		OP14	OP21	
OP23		OP14	OP22	

	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP8	OP9	OP10	OP11	OP12	OP13	OP14	OP15	OP16	OP17	OP18	OP19	OP20	OP21	OP22	OP23	
OP1	X																							
OP2		X																						
OP3			X																					
OP4				X																				
OP5					X																			
OP6						X																		
OP7							X																	
OP8								X																
OP9									X															
OP10										X														
OP11											X													
OP12												X												
OP13													X											
OP14														X										
OP15	X			X											X									
OP16	X															X								
OP17	X																X							
OP18	X																	X						
OP19				X															X					
OP20																				X				
OP21										X				X										
OP22															X									
OP23																					X			

Слика 5. Матрица претхођења захвата обраде

Матрица претхођења захвата обраде је основа за развијање варијанте извођења захвата обраде. За свих осам варијанти (4 основне и 2 подваријанте) извођења захвата обраде карактеристично је да имају по четири подоперације. У табели 5 приказан је редослед извођења захвата и подоперација за прву варијанту.

Табела 5. Редослед извођења захвата и подоперација за варијанту 1

Подоперација	Редослед извођења захвата	Смер приласка алата
S1	OP1, OP2	+Z
S2	OP3, OP4, OP5, OP6, OP11, OP12, OP13, OP14, OP15, OP16, OP17, OP18, OP19, OP20, OP21, OP22, OP23	-Z
S3	OP7, OP8	-Y
S4	OP9, OP10	+Y

3.3 Резултати САМ симулације варијанти технолошких процеса израде дела

У табели 6. приказани су резултати времена добијени симулацијом за свих осам усвојених варијанти у SolidCAM систему. У овим резултатима издвојене су две варијанте са најкраћим временима трајања процеса обраде, то су варијанте 1.1 и 3.1, односно варијанта 3.1 као оптимална са најкраћим временом трајања обраде.

Табела 6. Резултати времена симулације процеса обраде за све варијанте редоследа захвата обраде

	Вар. 1.1	Вар. 1.2	Вар. 2.1	Вар. 2.2	Вар. 3.1	Вар. 3.2	Вар. 4.1	Вар. 4.2
	[m:s]	[m:s]	[m:s]	[m:s]	[m:s]	[m:s]	[m:s]	[m:s]
Укупно време обраде:	18:43	21:39	19:52	21:43	18:36	20:18	19:52	20:55

4. ЗАКЉУЧАК

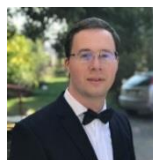
У овом раду приказан је принцип примене правила претхођења захвата обраде као методе за добијање могућих варијанти и оптимизацију технолошких процеса израде производа. При одређивању редоследа извођења захвата обраде узета су у обзир четири ограничења, односно претхођења заснована на техничким и економским ограничењима: димензионо, геометријско, технолошко и економско претхођење.

На основу 2Д цртежа/3Д модела полуге, дефинисани су типски технолошки облици и изабрани су алати за обраду. Одређивање варијанти редоследа захвата обраде извршено је на основу матрице релација захвата обраде која садржи четири наведена ограничења. Из те матрице изведено је осам варијанти извођења захвата. Применом САМ софтвера извршена је симулација усвојених варијанти технолошких процеса обраде, где је на излазу усвојена оптимална на бази минималног времена обраде, односно максималне производности.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лукић, Д., Милошевић, М., Тодић, В.: „Интегрисани CAPP системи и технолошка база података“, Ауторизовани рукопис са предавања, ФТН, Нови Сад, 2013.
- [2] Тодић, В.: „Пројектовање технолошких процеса“, ФТН издаваштво, Нови Сад, 2004.
- [3] Han, J., Pratt, M., Regli, W.C.: „Manufacturing Feature Recognition From Solid Models: A status report“, *IEEE Transaction on robotics and automation*, Vol. 16, No. 6, pp. 782-796, 2000.
- [4] Лукић, Д., Милошевић, М., Ерић, М., Ђурђевић, М., Вукман, Ј., Антић, А.: „Improving manufacturing process planing through the optimization of operation sequencing“, *Machine Design*, Vol. 9, No. 4, pp. 123-132, 2017.
- [5] Каталог резног алата „Rotating tools“, *Sandvuk Coromant*, Sandviken, Шведска, 2017.
- [6] Каталог резног алата „Solid round tools“, *Sandvuk Coromant*, Sandviken, Шведска, 2020.
- [7] Каталог резног алата „Turning tools“, *Sandvuk Coromant*, Sandviken, Шведска, 2017.
- [8] „CoroPlus ToolGuide“, *Sandvuk Coromant*: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/toolguide.aspx>, Децембар, 2020.

Кратка биографија:



Марко Кљуновић рођен је у Сремској Митровици 1990. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинства – Производно машинство, смер Рачунаром подржане технологије одбранио је 2021.год.
контакт: sm.kljun@gmail.com



Дејан Лукић рођен је у Жабљу 1973. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2012. год., а од 2018. год. је у звању ванредног професора. Уже области интересовања су: пројектовање технолошких процеса, CAD/CAPP/CAM, техноекономска оптимизација, DfM, логистика производње и Индустрија 4.0.