

1. Увод

Потреба за појединачном израдом делова од лима, или у малим серијама, довела је до отривања технологије инкременталног обликовања. Овом методом могуће је израђивати делове врло сложене геометрије флексибилним методама са кратким временом (у року од једног дана) без потребе за прављењем скувих алата и калупа уз минимална улагања у машине јер је довољно поседовати троосну глодалицу.

Идеју о инкременталном обликовању у једној тачки први је патентирао *Leszak*, 1967. године у свом раду "Апаратура и процес инкременталног формирања без калупа" пре него што је било изводљиво. [1] Инспирација за ову методу потиче из традиционалних метода обликовања кућних предмета од лима при којим је занатлија ситним ударцима чекића са обликачем у лиму добијао жељене облике (слика 1.1). Конвенционалне методе обликовања лима, за разлику од интелектуалног, су ограничене у постизању неких геометријских облика и захтевају скупе алате и калупе.



Слика 1.1 Традиционална метода обликовања лима

Развој *CNC* софтвера и управљања машинама омогућило је широк развој ове методе на различите начине њеног извођења. Такође је омогућило флексибилност постројења и опреме, добијање сложенијих облика уз истовремено коришћење различитих алата.

Овај рад ће приказати детаљнију анализу асиметричног инкременталног обликовања (АИО), формирање рупа и отвора, материјала који се користе и њену примену у данашњој индустрији.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



2. Технологија инкременталног обликовања (ИО)

Ова технологија се заснива на обликовању 3Д облика од лима помоћу различитог начина кретања алата (обликача) у XY равни при чему се одвијају мала удубљења на површини лима и кретањем у Z правцу за постизање дубине. Кретања алата се могу изводити тако да алат изводи мала ударце при чему ствара мала удубљења или се може окретати.

Развоју ове технологије допринели су развој компјутерски управљане обраде, развој постпроцесора за путању алата у CAD/CAM софтверским пакетима и могућност формирања асиметричних облика по ниској цени а без скупих калупа.

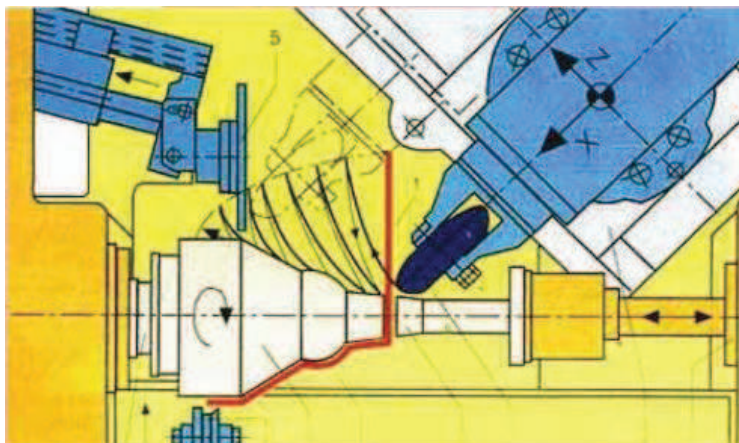
Ове методе могу се поделити на:

- 1) Симетрично инкрементално обликовање лима (СИО)
- 2) Асиметрично инкрементално обликовање лима (АИО)

У наставку ће бити више речи о асиметричном инкременталном обликовању док ће се симетрично обликовање само објаснити.

3. Симетрично инкрементално обликовање (СИО)

Овом методом се добијају искључиво симетрични делови. Ова технологија се изводи тако што постоји трн који се стеже у главу вретена струга а који представља калуп за обликовање лима. Лим се стеже између трна и притискача који се налази у носачу шилџа. Лим се креће обртним кретањем док се напада различитим обликачима који га прибијају уз трн и тако се добија жељени облик. На слици 3,1 се може видети ова метода са свим описаним елементима.



Слика 3.1 Приказ симетричног инкременталног обликовања на машини

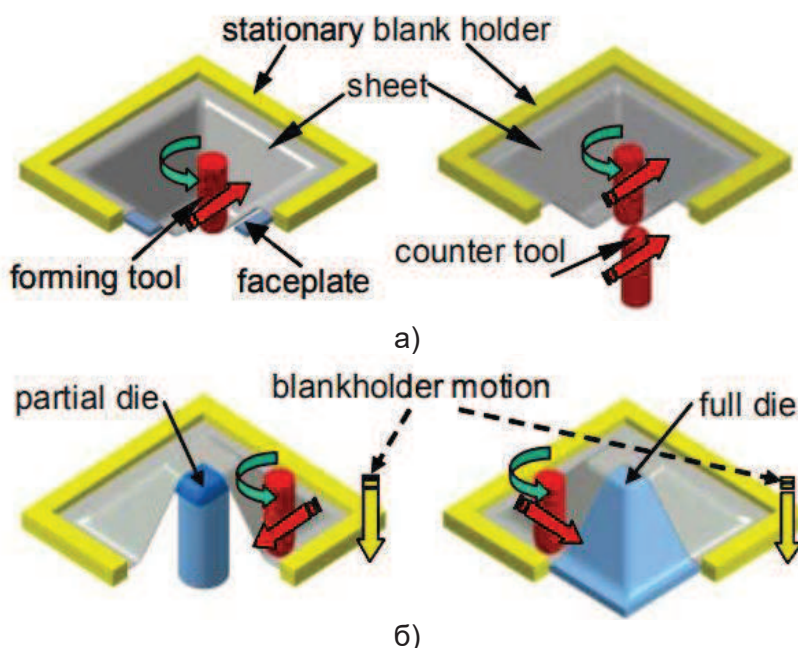
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

4. Асиметрично инкрементално обликовање (АИО)

АИО је процес ИО којим се могу израђивати асиметрични 3Д облици. Користи се алат малих димензија и у сталном је контакту са лимом.

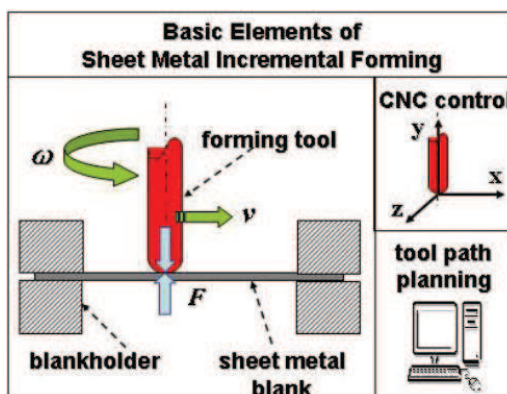
Ова метода се може поделити на више подврста:

- 1) Асиметрично инкрементално обликовање у једној тачки са/без контраалата (слика 4.1 а)
- 2) Асиметрично инкрементално обликовање у две тачке са делом калупа или целим калупом (слика 4.1 б)



Слика 4.1 Приказ подврста инкременталног обликовања [1]

Основни елементи ове методе су лим (припремак), држач лима, алат (обликач) и компјутерски управљана машина. Делови се овом методом могу израђивати на специјалним машинама, о којима ће касније бити више речи, уз специјалне софтвере који могу да генеришу потребну путању алата. Кретање алата се врши у Декартовом координатном систему (X Y за кретање алата, Z правац за деформације) и ω за угаону брзину окретања алата (слика 4.2).

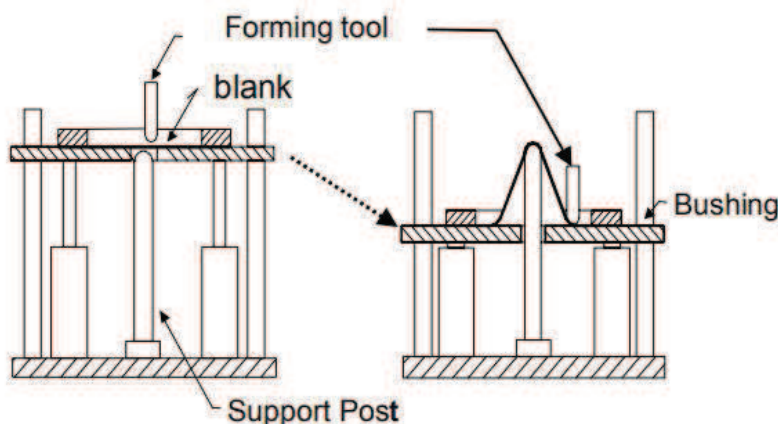


Слика 4.2 Основни елементи АИО [1]

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

4.1 АИО у две тачке

Ова метода је уведена због потребе брзе и јефтине производње асиметричних делова од лима у малим количинама. У процесу обраде се држач лима, помоћу лежаја, помера вертикално по вођицама док алат на лим врши притисак и тако и деформише лим, и помера платформу (слика 4,3).

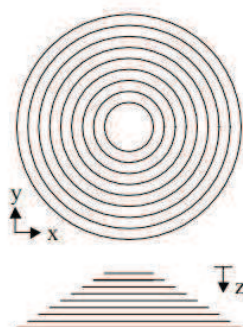


Слика 4.3 Шема кретања алата [1]

Тачка у којој се дешава пластична деформација се налази директно испод алата за обликовање (обликача), а у случају да се извршава на CNC глодалици, она је испод главног вретена. Док врши пластично деформисање, алат се истовремено креће по програмираној путањи креирајући облик производа.

Друга тачка у овој методи представља чврсти ослонац који ствара горњу контрасилу лиму. Такође он може да послужи као делимични калуп и зато се ова метода некад и не сматра методом без калупа. Да би се спречило увијање лима око делимичног калупа (додатног ослонца) а исто тако омогућила повратна сила на лим, испод се налази потпорна плоча. Делимични калуп може бити измењив и може бити облика дела који се обликује тако да функционише и као потпуни калуп. Обе верзије се могу видети на слици 4.1б.

Кретање алата се врши тако да инкрементално обликује контуру (слика 4.4). Инкремент има константну вредност.



Слика 4.4 Пример инкременталне контуре [1]

У зависности од пречника алата у току његовог кретања се могу јавити оштре ивице зато што алат прати конвексну површину дела током обликовања.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

4.2 АИО у једној тачки

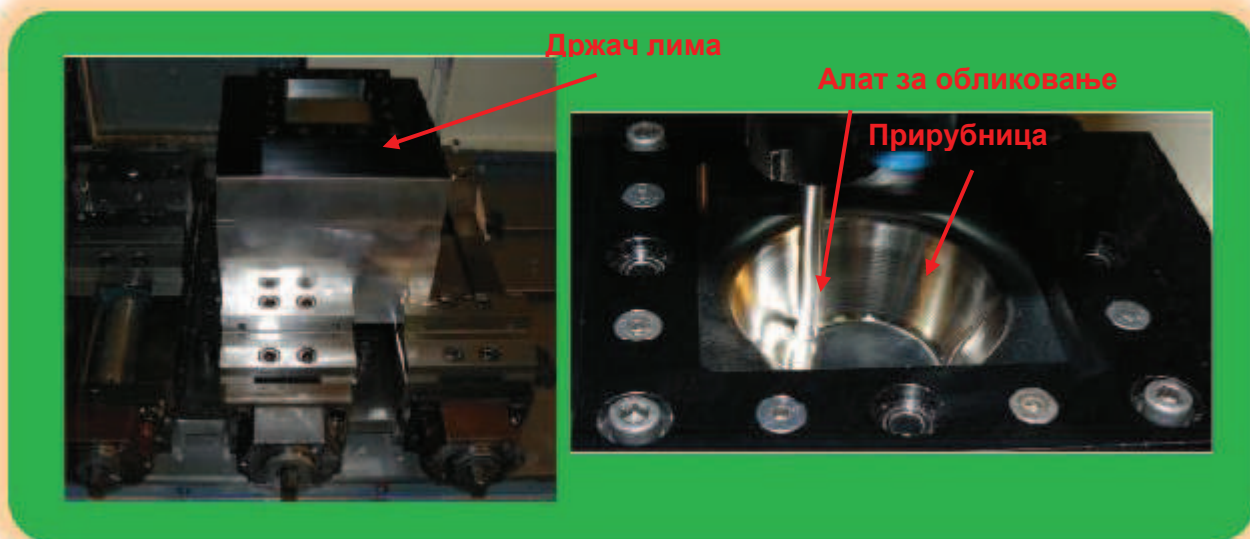
У односу на АИО у две тачке, код АИО у једној тачки нема додатног ослоњаца или доњег калупа већ је доња површина лима слободна. То узрокује да се јављају другачије силе и напрезања.

И ова метода се може изводити на *CNC* глодалицама уз посредовање *CAD/CAM* система за генерисање путања.

5. Прирубница рупе инкременталним обликовањем лима

Добијања прирубнице рупе је конвенционални поступак инкременталним обликовањем лима из делова у једној тачки, ово је један од нових процес са великим потенцијалом економска исплата за брзо добијање прототипа и производњу малих серија. Принцип рада је такав да се малим ударима око отвора ствара глатка цилиндрична или конична прирубница, стим да се овакав метод примењује на лимове малих дебљина. На слици 5.1 може се видети како изгледа апаратура за сам процес обликовања. Процес се широко користи у операцијама пресовања за јачање ивице рупа, за побољшање његовог изгледа и за пружање додатне подршке за спајање делова лима на цеви, итд. Међутим, као и код свих нових процеса обликовања лима, постоји потреба за испитивањем његове механичке структуре и описивањем физика која стоји из појаве неуспеха. Како се лим удубљује, тј. како унапред се рупа деформише на материјал утиче напрезање приликом инкременталног обликовања, у самом процесу појавиће се локалне деформације на савијање и истезање. Међутим, овакав вид обликовања је од великог значаја за побољшање перформанси и индустријске применљивости процеса. Ради добијања прирубнице добрих перформанси оваквим видом обликовања потребно је извршити анализу механичке структуре и границу обликовања материјала како не би дошло до пуцања током његовог инкременталног обликовања.

Добијени резултати током испитивања на напрезање и остале појаве које утичу на сама својства током инкременталног обликовања приказани су даље у пројекту.

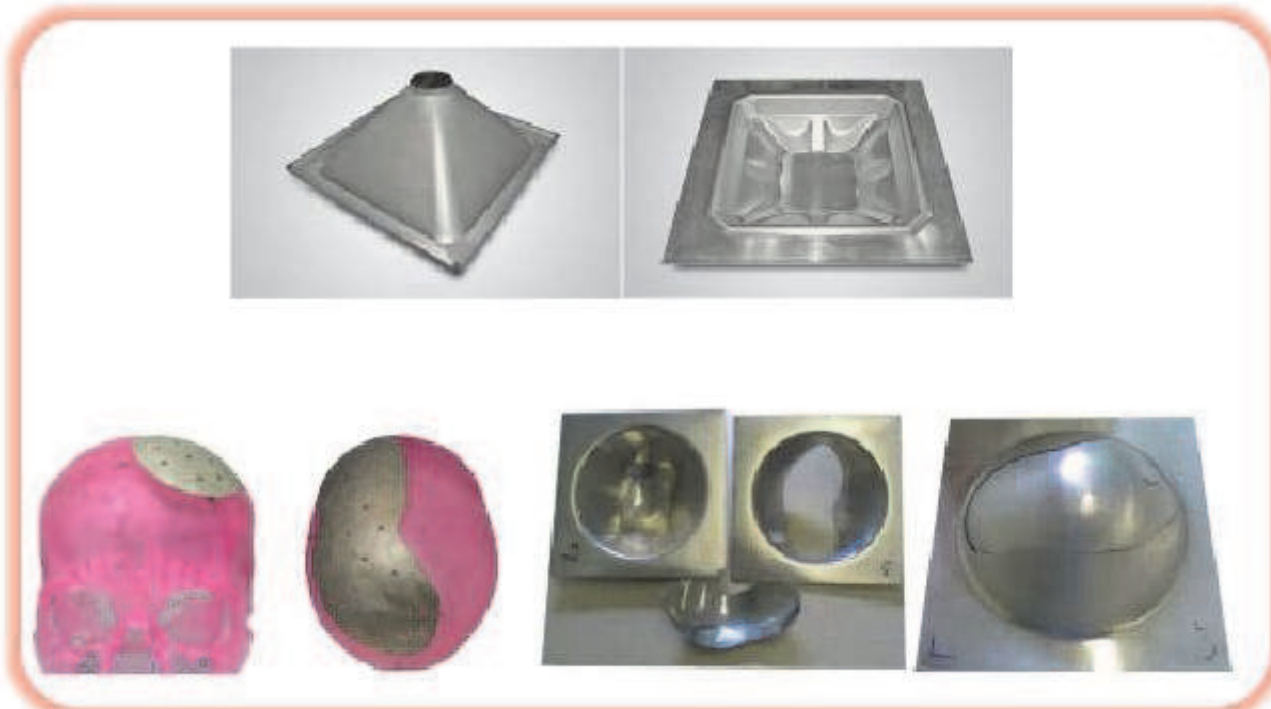


Слика 5.1 Изглед апаратуре инкременталног обликовања

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

5.1 Експерименти тестирање

Прво истраживање инкременталне технологије обликовања у једној точки извео је Масон (1978. година) [1]. Масон је први дефинирао СПИФ технологију у којој споменуо да је минимални број координата потребан за опис облика површине једнак броју три (x, y и z-оси). Затим да је облик одређене површине могуће је произвести са сферичним алатом којему се могу контролирати x, y и z - оси. При томе алат ће се кретати по задатој површини на начин да је деформира до траженог облика [2]. Инкрементално обликовање има могућност револуционарног утицаја на обраду деформирањем, могуће је ту технологију примијенити на различитим уређајима који већ постоје у фабрикама, CNC обрадни центри и роботи. Улазни материјал може бити унапред деформиран што значајно проширује могућности обликовања, будући да се у другим технологијама деформирања захтева недеформисани улазни облик материјала. Код већ деформираних улазних материјала треба пратити промене деформација како би се испитала способност додатног обликовања таквог лима. Деформације се најчешће мере и прате технологијом постављања мреже кружница на испитивани лим и мерењем промене кружница након деформирања, резултати се исписују на дијаграм способности обликовања. На слици 5.2 приказани су типични производи добијени СПИФ технологијом.



Слика 5.2 Различити облици добијени инкременталим обликовањем [2]

Овај одељак почиње описом техника које су биле коришћене за обављање механичких карактеризација и независно одређивање граница формабилности при лому, а следи представљањем плана рада који је био дизајниран за истраживање механике деформације и физике и за грешака у прирубљивању рупа помоћу инкременталног обликовања лима.

Узорци коришћени при испитивању направљени су од AA1050-X111 плоче са дебљином од 1 mm. Механичка карактеризација материјала је извршена помоћу испитивања тако што је стегнут на универзалној машини за испитивање материјала (*Instron 4507*).

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Узорци су исечени из испорученог лима у 01, 451 и 901 у односу на смер ваљања у складу са нормом NP EN 10 002-1. Крива просечног напрезања добијена тестовима затезања одређена је изразом:

Просечне вредности добијене за напон приноса ϵ_y , крајње затезне чврстоће ϵ_{UTS} , модула еластичности E и тачке пуцања A налазе се у *табели 1* [1].

Results from the tensile tests of Aluminium AA1050-H111.	
Parameter	Value
σ_y (MPa)	119.9
$\sigma_{1.75}$ (MPa)	120.9
A (%)	10
E (MPa)	70943

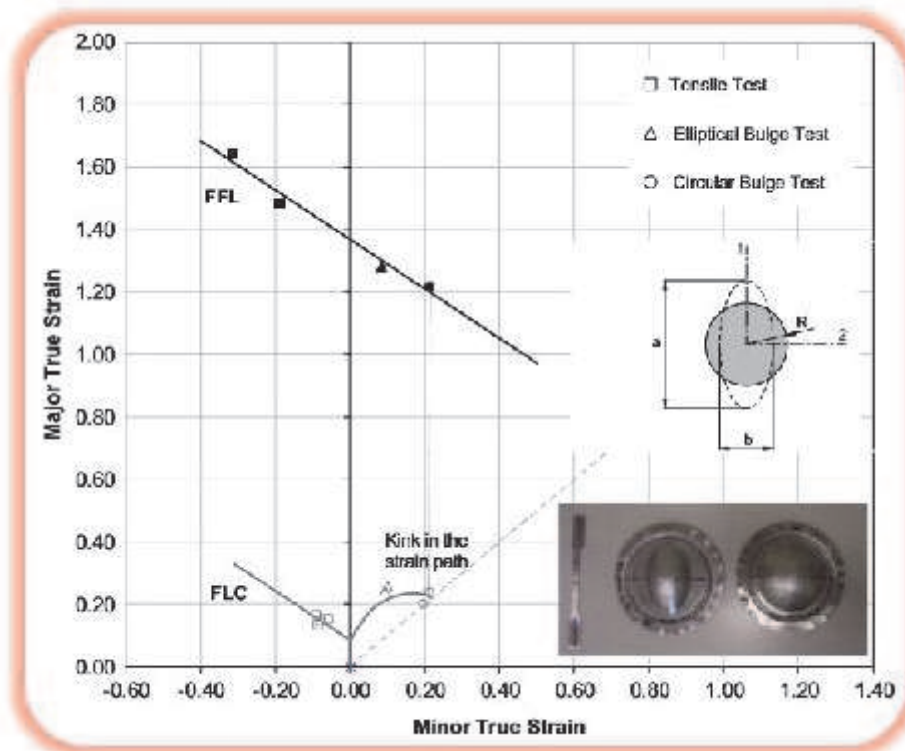
Табела 5.1 Добијене вредности

Границе формирања на врату (формирање граничне криве, 'FLC') и лом (гранична линија прелома, 'FFL') су процењени комбинујући резултате тестова на затезање са хидрауличким тестовима на издржљивост, изведеним на универзалној машини за тестирање лима (*Ericksen 145/60*) користећи двоосне, кружне (100 mm) и елиптичне (100 /63 mm) сетове алата. Техника коришћена за добијање FLC је укључивао електрохемијско тачкање решетке са преклапајућим круговима с почетним пречником од 2 mm на површини узорака, пре формирања и мерења главне и мање осе елипсе које настају као резултат пластичне деформације кругова током ових тестова формабилности. Израчунате су вредности деформације од (види детаље на слици).

$$\epsilon_1 = \ln\left(\frac{a}{2R}\right) \quad \epsilon_2 = \ln\left(\frac{b}{2R}\right) \quad (2)$$

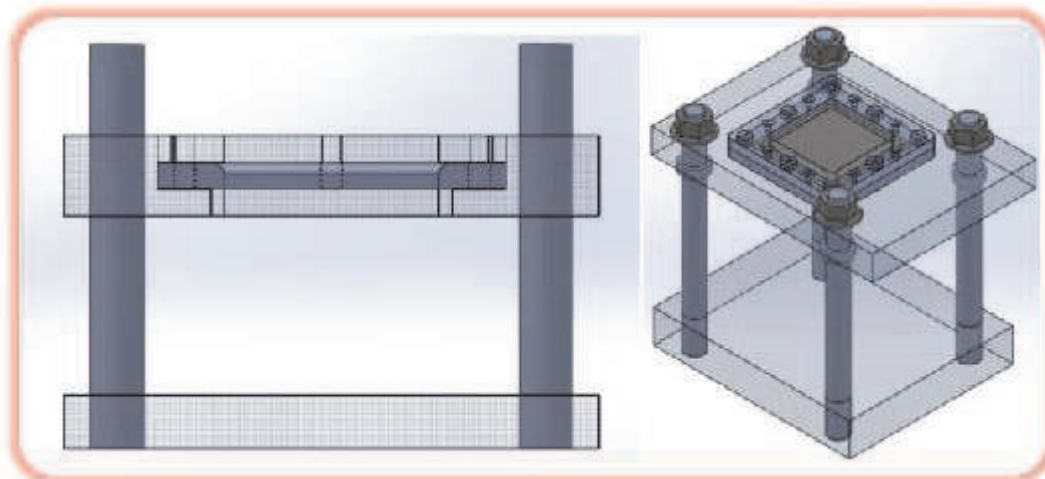
где симбол R представља оригинални радијус кружнице, а симболи a и b означавају главну и споредну осу елипсе. Резултирајућа FLC приказана је на *слици 5.3*, а конструисана је узимањем главних напрезања (ϵ_1 , ϵ_2) при неуспеху са тачака решетке постављених ван врата (тј у близини регије интензивне локализације), пошто представљају стање равномерно истањеног лима непосредно пре појаве лома.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 5.3 Формирање граничне криве FLC и формирање криве лома FFL за алуминијум

Због тога радни алат треба осигурати чврсто стезање и избегавати појаву вибрација. Помази алата нису пожељни иако су у истраживању с потпорним обликом вертикално померали алат у циљу остваривања константног стања напрезања како би смањили заостала напрезања. Слика приказује дизајн класичног радног алата са потпорним стубовима. Омогућава лако постављање предмета испод направе.

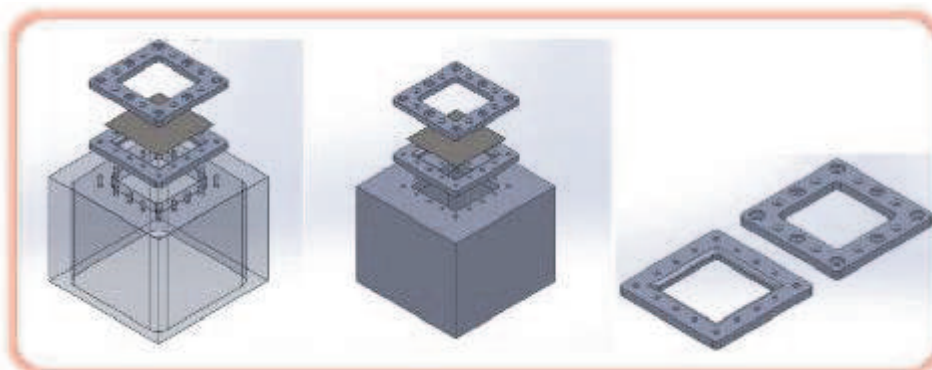


Слика 5.4 Дизајн класичне радне апаратуре за SPIF процес у програму SolidWorks [2]

То решење са вертикалним померањем алата врло је слично принципу инкременталног обликовања у две тачке где се такође с потпорним алатом тражи веће напрезање плоче лима. Постоји неколико услова које радна направа мора задовољити од којих је најважнији да осигура прецизност и тачност израде. Прецизност подразумева поновљивост мерених резултата и да би то осигурала, радни алат мора имати константне услове стезања, добру крутост и мора бити дизајнирана на начин да на одговарајући начин учествује у изради.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

Класична израда се заснива на четири стуба који осигуравају плочу на коју се постављају прстени који стежу лим који се обрађује. Класични дизајн је одбачен у корист алата која осигурава већу крутост, израђен је од једног блока легуре алуминија *AlMg4.5Mn*.



Слика 5.5 Дизајн апаратуре у програму SolidWorks

Израђена конструкција има мању могућност појаве вибрације него што је то случај са класичном. Дизајнирана је тако да може стегнути на вертикалној и на хоризонталној глодалици.

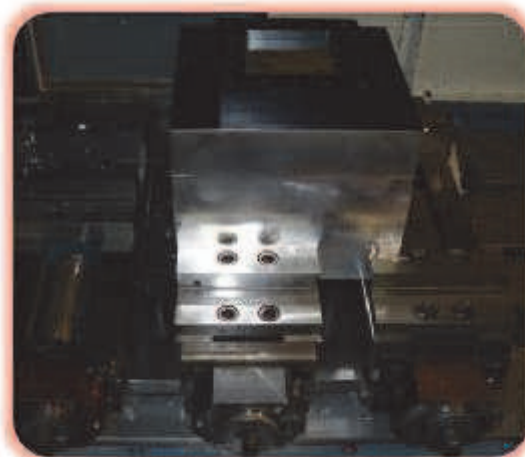
Будући да се обрађује танак лим, пажња је посвећена изради посебних прстена који олакшавају стежање изратка са радној кунструкцији, тј. на танком лиму важно је посматрати утицај гравитације, тј. тачке стежања и путања алата наспрам тачака стежања због ефекта еластичне деформације.

Током обраде, конструкција учествује у процесу израде, тако што доњим делом прстена који је у контакту са лимом, у том подручју се јавља истезање због повећаног контакта па се због тода препоручује употреба радијуса на радномј алату. Колики радијус треба користити у радној конструкцији зависи од својстава величине испитиваног узорка, радијусу алата с којим се врши обрада и о самим својствима алата. У овоме истраживању на прстену за стежање на који се лим поставља одабран је радијус R5. Већа искоришћеност у процесу малосеријске производње и смањење времена код процеса глодања постиже се употребом модуларних радних конструкција. Исти принцип се може употребити и за технологију инкременталног обликовања за шта се у овом раду и примењује.



Слика 5.6 Коначна израда радне конструкције и прстена за стежање [2]

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



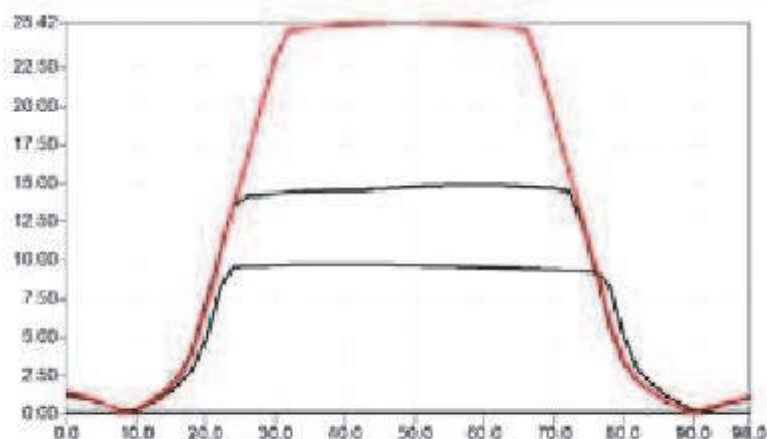
Слика 5.7 Приказ радне конструкције стегнуте у калупу [2]

5.2 Резултати и дискусије

Резултати мерења су добијени помоћу АРГУС у фабрици Топоматика, Загреб [2]. На слици 5.8 приказана је упоредан приказ добијених узорака површине 100 x 100 [mm] материјала TS230, где је угао 58°. Узорци су лакирани и висине врха прирубнице 10, 15 и 25 [mm] и према томе студија обраде се деле на први, други и трећи (црвена линија на слици 5.8). При поновљеној обради с истим одабраним параметрима обраде, али с промјеном висине, дошло је до доброг поклапања код висине од 25 [mm] и 15 [mm]. Код узорка од 10 [mm] висине дошло је до одступања димензија. Како је сваки пута коришћен нови узорак, то се може приписати варирању у својствима материјала и самоме стезању. Према слици 5.8 примјећује се да је материјал на дужини секције од 0 до 10 [mm] те од 90 до 100 [mm] деформисан. До тога је дошло приликом вађења епрувете из стезног прстена због ефекта еластичне деформације материјала. У подручју секције од 10 до 30 [mm] (70 - 90 [mm]) дошло је до континуалне деформације лима, при вертикалном помаку $\Delta z = 0,6$ [mm], $S_c = 0$ за угао од 58°. Подручје секције од 30 до 70 [mm] није се обрађивало али дошло је до појаве лаганог савијања због напрезања којима је то подручје било подвргнуто током обраде.

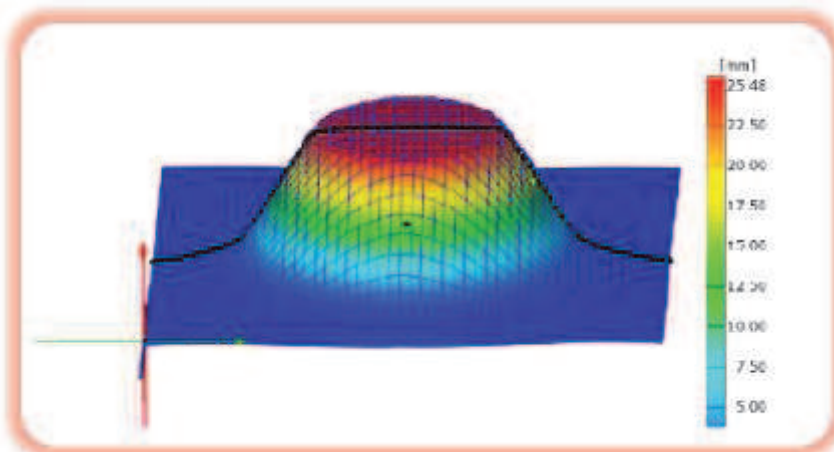
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

По
ма
к
Е
[m
m]



Слика 5.8 Упоредни приказ попречних пресека узорка TS230 за 10, 15 и 25 [mm]

Са слике 5.9 може се видети 3D приказ висине и крајњег положаја прирубнице од 25 mm.

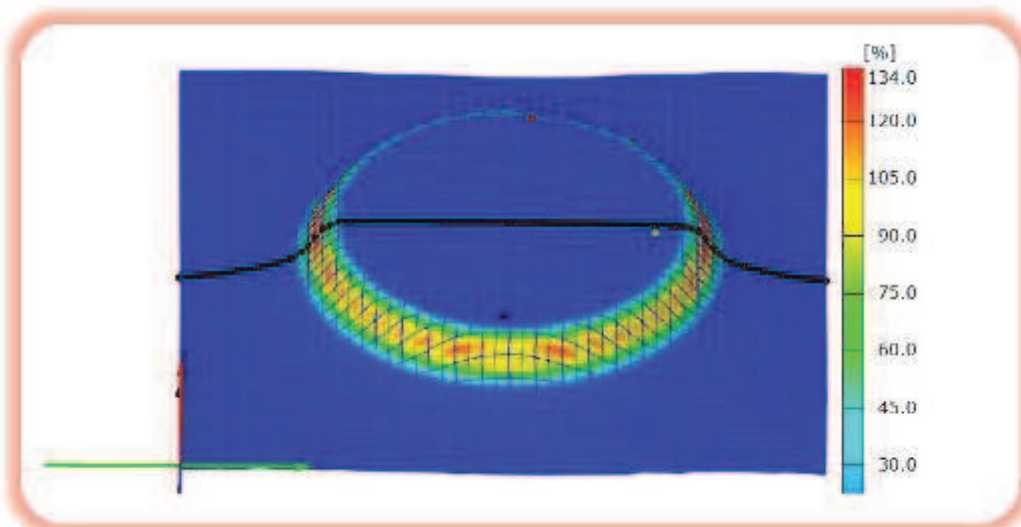


Слика 5.9 Постигнута крајња висина приликом микро обликовања

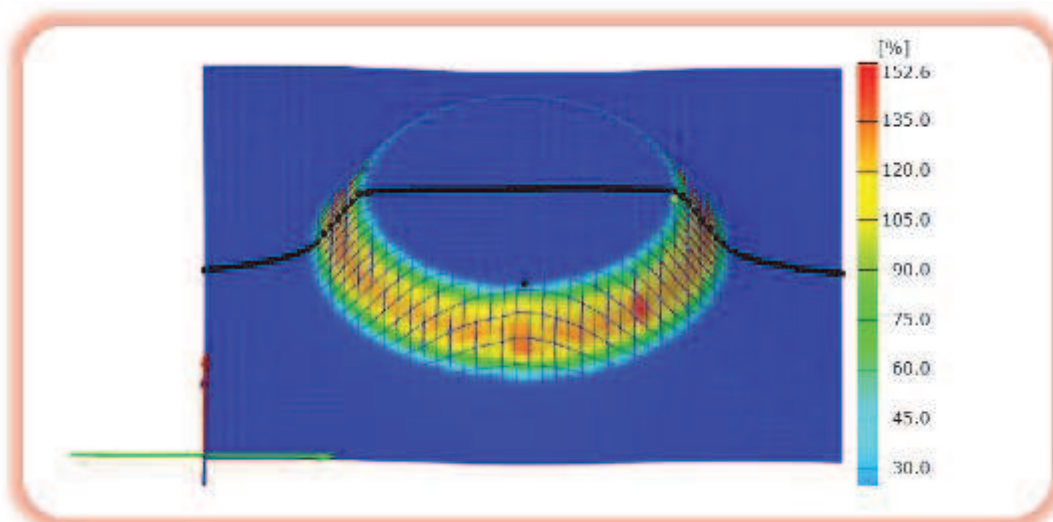
Може се приметити да је коначна димензија висине од 25, 48 mm што означава да је остварена тачност коначне димензије. Односно има дозвољено одступање од + 0,5.

Приказ појаве деформације током корака испитивања могу се видети у корацима од слике 5.10 до 5.12.[2] На испитиваном узорку висине од 25 [mm], дошло је до попуштања самог материјала- лима у почетном радијусу од 60 [mm], међутим у самом процесу обраде лом је

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

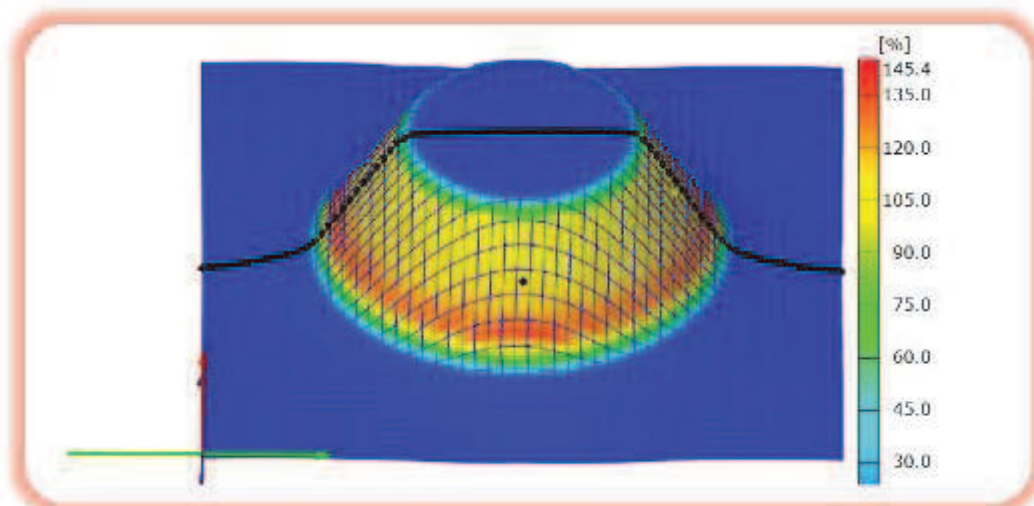


Слика 5.10 Расподела деформација према *Von Misesu* за висину крање прирубнице 10 mm за материјал TS230



Слика 5.11 Расподела деформација према *Von Misesu* за висину крање прирубнице 15 mm за материјал TS230

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 5.12 Расподела деформација према *Von Misesu* за висину крање прирубнице 25 mm за материјал TS230

6. Параметри процеса АИО

У овом поглављу биће описани параметри карактеристични за АИО.

6.1 Максимални угао цртања, ϕ_{\max} : референтна вриједност формабилности

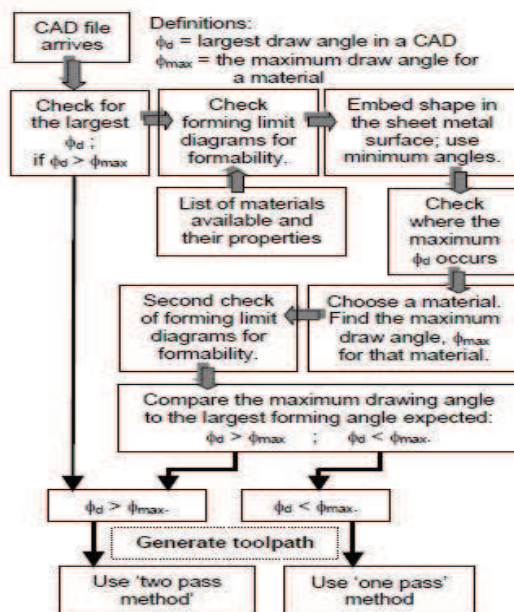
Препознато је да је материјално понашање и максимална извршивост у АИСФ-у може се описати максималном вредношћу угла повлачења ϕ_{\max} . Како се угао повлачења ϕ повећава долази до редукције дебљине постизањем минималне вредности где се фрактура јавља као последица. Ово је повезано са синусом и односом окретности приказано на слици 2.

Познавање параметра ϕ_{\max} за материјале специфичне дебљине, дизајнер (инжењер) може да преузме први корак у одлучивању да ли се може направити део од лима са једним пролазом без кидања материјала или два или више пролаза у зависности од редоследа; види слику 1.

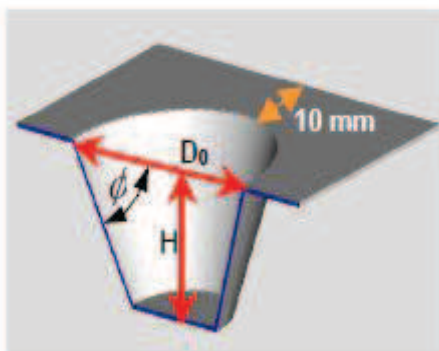
Многи параметри утичу на процес и морају се узети у обзир при потпуном разумевању механичких процеса и резултата обликовања. Из тог разлога, експерименталне истраге су развијене, узимајући у обзир референтни производ. Ако су детаљи параметра ϕ_{\max} и формабилност непознати, тада се користи конус приказан на слици 2 за сповођење теста. Референтни пречник конуса износи 72 мм са висином, X једнаком 40 мм. Тестови су изведени под различитим вредностима степена угла повлачења конуса па све до отказа који се дефинише као кидање у узорку зида.

Табела 1 приказује примере почетне дебљине материјала и одговарајуће вредности ϕ_{\max} које су примењене у АИСФ. Правило за окретање, на слици 2, и прорачун за окретност, оба показују дебљину материјала који утичу на обликовање материјала и једноставност геометрије, види слику 2, види се да угао предења (spinning angle) и угао повлачења директно су повезани.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 1. Процес прављења дела



Слика 2: Конус за испитивање параметара формирања

Material	ϕ_{max}	FLD ₀	t_0 , mm	
AA 1050-O	67.5°	2.305	1.21	Filice [31]
AA 6114-T4	60°	0.841	1.0	Micari [63]
Al 3003 - O	78.1°		2.1	Jeswiet [59]
Al 3003 - O	72.1°		1.3	Jeswiet [59]
Al 3003 - O	71°	3.0	1.21	Jeswiet [59]
Al 3003 - O	67°		0.93	Jeswiet [59]
Al 5754 - O	62°		1.02	Jeswiet [59]
Al 5182 - O	63°		0.93	Jeswiet [59]
AA 6111-T4P	53°		0.93	Jeswiet [59]
DC04, mild steel	65°	1.2	1.0	Hirt [65]
DDQ	70°	2.718	1.0	Micari [63]
HSS	65°	1.924	1.0	Micari [63]
Copper	65°	1.808	1.0	Micari [63]
Brass	40°	0.701	1.0	Micari [63]

Рег. број

Презиме и име:

Смена:

Шк. год.

Датум:

Прегледао:

Група 3

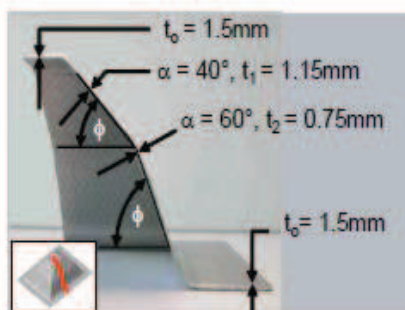
Табела 1: Листа материјала са почетном дебљином и максимални углови повлачења. FLD_o је максимално велико напрезање при малом напрезању нула.

Користећи облик пирамиде слика 3, Hirt је нашао исти резултат за материјална ограничења као Fratini; тањи део који се јавља са стрмијим странама и повећањем ϕ . Гранична фрактура процеса је око 65° за AA 1100 алуминијум и ДЦ04 мекани челик. Jeswiet и остали истраживачи спровели су параметријску студију, чији је циљ био одређивање односа између формабилности материјала (мерено на максималну „сигурну“ вредност ϕ_{max}) на листу дебљина. Испитивање две легуре алуминијума дало је:

$$AA\ 3003-O\ \phi_{max} = 8.5t_o + 60.7^\circ \quad (2)$$

$$AA\ 5754-O\ \phi_{max} = 3.3t_o + 58.3^\circ \quad (3)$$

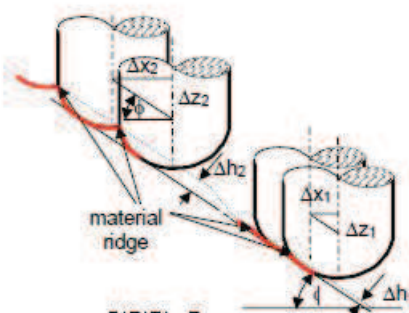
Горња и доња граница линеарне функције су дефинисана спиннабилношћу (центрибилности) и синусним законом. Иако ове линеарне функције имају ограничења, оне су корисне за инжењера (дизајнера) у одабиру комбинација дебљина и углова вучења за обликовање са једним пролазом.



Слика 3: Асиметрично инкрементално обликовање дебљине 1,5 мм ДЦ04, у пирамиду са различитим странама нагиба

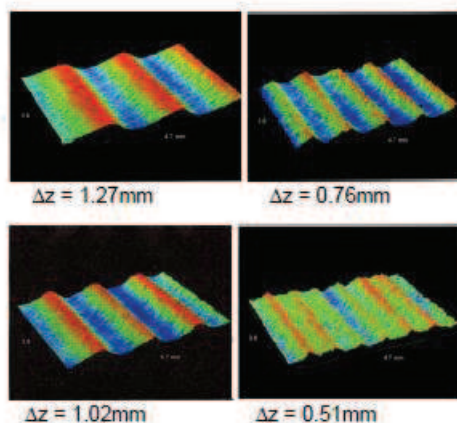
6.2 Храпавост површина

Површинска храпавост је главна брига код коначног производа. У AISF технологији главни фактор у одређивању храпавости површине је инкрементална величина корака, Δz . Два примера приказани су на слици 4. У једној дубинској студији утицаја смоле, Δz , на површинску храпавост, циљ је био да се опази бољи односно кориснији показатељ храпавости површине. Слика 5 приказује 3Д слике за различите величине. Слика 6 приказује 2Д профиле за три величине тона са профилем алата прекривеним код нагиба од $0,13$ мм, када је корак 1 проценат радијуса алата уочен на слици 5 практично нестало. Такође је откривено да је Rz , средњи врх висине до дна, кориснија мера.



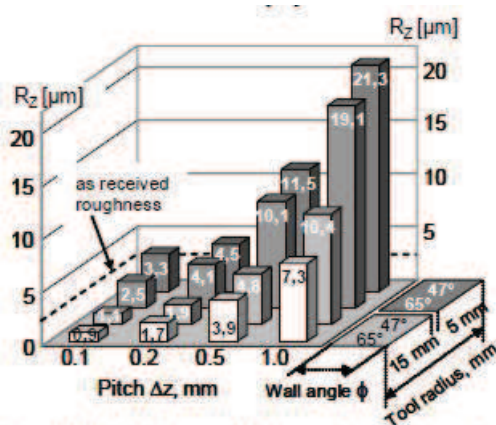
Слика 4: Илустрација о томе како настају гребени висина Δz

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 5: 3Д храпавост површине за четири величине Δz . Профили су добијени интерферометријом беле светлости и су 3,6 мм к 4,6 мм. Пречник алата је 12,5 мм.

Јунк и остали истраживачи су такође проучавали ефекат корака (нагиба) Δz , угао извлачења ϕ и радијус алата на површинској храпавости. Открили су то да величина нагиба, радијус алата, угао цртања ϕ и површинска храпавост су међусобно повезани као што је приказано на слици 7.



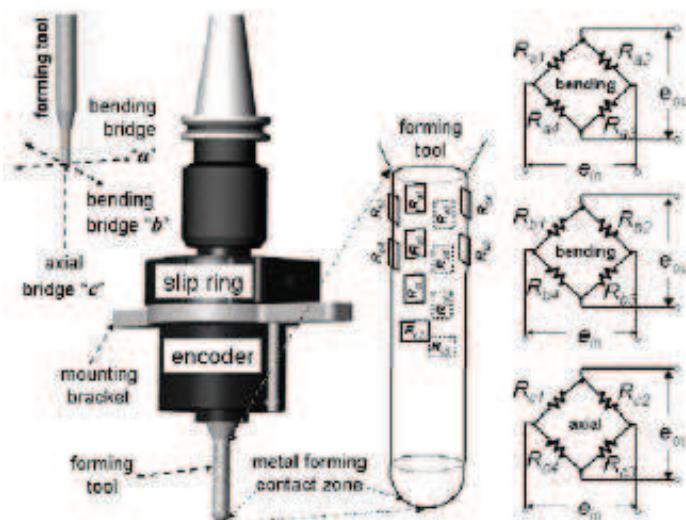
Слика 6: Утицај корака Δz , угао цртања ϕ и алат величина по храпавости површине R_z ; 1,5 мм АА 1100.

Број обртаја вретена има утицај на максималну висину профила и једначину која се односи на максималну висину профила створено инкременталним обликовањем до величине корака Δz . Такође је примећено то да је површинска храпавост већа код алата који се не окрећу. Смањивањем релативног кретања између алата и радне површине, површинска храпавост се може смањити. То ће такође смањити учесталост тесања(стругања) због поновљених напрезања (притиска) преко исте површине. Силе у инкременталном померању: (сензор који мери и испитује силе при инкременталном померању)

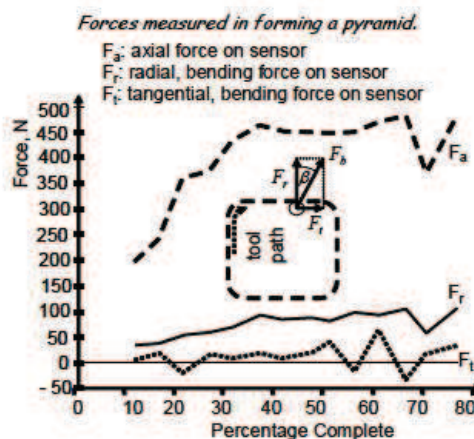
Потенцијални корисници процеса инкременталног обликовања лимова су често забринути због сила које се стварају, посебно ако се користи CNC обрада. У једном случају, при мерењу сила у SPIF технологијама, дизајн сензора сила је базиран на раду мерења трења изведених на бази конзолних греда заснованих на идеји Nuahutwa. Дизајн конзолног сензора приказан је на слици 8. Вретенасто монитрана конзолна греда са напетим Витстоновим мостом (Wheatstone bridge), тачније приказана сама шема рада сензора и електрично коло (Витстонов мост). Сваки мост је направљен да мери један од три ортогоналне силе: два правца савијања, „Fr“ и „Ft“, и један аксијални правац, „Fa“. Додатна

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

појава јесте и то да се ова врста сензора може користити за студије мерења трења. Већина енергије која се формира прелази у приказано гурање према доле према F_a аксијалној сили и сили F_b , при чему је резултат „ F_r “ и „ F_t “ много нижи од „ F_a “. На слици 8 се види приказ дефиниције рада сензора.



Слика 7: Приказ слике сваке тачке сензора за инкрементално формирање



Слика 8: Приказ вредности сила у процесу рада при формирању пирамидног облика

Силе мерене сензором приказаним на слици 7 су за 1.21 мм дебљине AA 3003–0, формиране од равног лима у скраћени облик пирамиде. Слика 8 говори о томе. Силе су такође мерене у TPIF технологији са одмереном парцијалном матрицом користећи Поасонову конфигурацију. У формирању конуса, мерења су извршена под различитим угловима извлачења, ϕ . Силе су просечне за сваки комплетан круг око парцијалне матрице (другачије названо профил.) Максималне вредности сила искуствено добијене под углом извлачења ϕ могу се једноставно наћи дељењем косинуса на угао извлачења ϕ . Максимане силе за оба процеса, мерене различитим сензорима, може се рећи да су блиски по величини. У трећем случају, Дуфалоу и други научници спровели су серију експеримената са шестокомпонентним динамометром за силу, монтираним под једном тачком инкременталног система за формирање и изведеним односима између сила и угла нагиба, пречника алата и инкременталне величине корака Δz . Закључено је да ће се повећати вертикални корак, корака Δz , пречник алата или угао зида ϕ , укупне силе на алату за обликовање, а самим тим и алатни строј. За ова три параметра, вертикална величина корака има најмање значајан

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

утицај и зато се може повећати без могућности штете, да би се смањило време производње дела. Повећање пречника алата има значајан утицај о величини силе која је потребна за формирање одређеног дела. Иако може да побољша површинску завршну обраду и смањи време производње омогућавајући веће вертикалне степенице(веће квадратиће преласка на слд слој) без утицаја на квалитет површине, велика повећања пречника алата резултирају много већим силама и могао би постати ограничавајући фактор. Када се угао ϕ повећава силе формирања су много веће.

Силе које настају у деформисању АА 3003-0 дебљине 1,21 мм лима, успешно су мерени, са три одвојене изведбе сензора и за две одвојене врсте AISFтехнологија : SPIF и TPIF. Корисне инфомације приликом израде су:

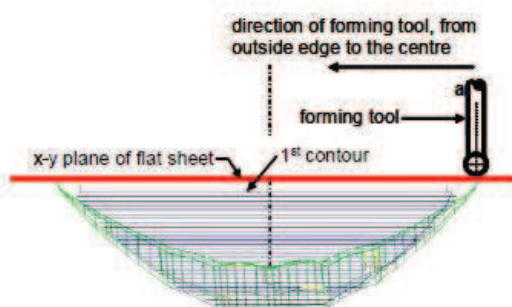
- Повећање вертикалне величине корака повећава силе,
- Већи пречник алата повећава силе формирања.

6.3 Контурна путања алата

Када су познате све карактеристике материјала путања алата може се планирати. На располагању је неколико избора путања алата за обликовање. У наставку ће нешто више бити речи о томе као и сам приказ слика.

Алат за глодање контура је завршни пролаз, типично дефинисан фиксним корацима Δz између фиксних дискретних контура. Ово је такође најчешћа коришћена техника. Недостатак је што оставља трагове на прелазу тачка између слојева. Површински квалитет(односно квалитет површине) зависи од радијуса алата, величине корака и нагиба косине, као и система подмазивања и брзине вретена. Спирална путања алата је континуирана са инкременталним спуштањем алата распоређеног по целој контури дела. Сама стратегија путање алата захтева креирање средњих облика који су дефинисани унутар шупљине крајне површине и типично су окарактерисани ограниченим угловима нагиба и закривљености. Ово је упоредиво са grubим кораком глодања, након чега следи завршни пролаз који може бити у облику коонвенционалног глодања, спирални пут или стратешки одабран пут алата(путања) која има за циљ истезање дна шупљине повећавајући углове нагиба дела без изазивања претераних напрезања на стрмим падинама путања алата. Ова објашњења илустрована су сликама.

Ова метода је метод која се најчешће користи и због тога ће бити мало детаљније описана и обрађена. На основу посматране слике 9 можемо приближити само појашњење рада. Прво је равна површина (раван) лима дефинисана као x-y раван пре него што се деформише. Ово је вештачка хоризонтална раван (равнина) која делује као оригинална референца када се формира дуж z- осе која је у том ренутку једнака 0. Сви делови и потребна геометрија мора бити на или испод ове равни. У случају SPIF алат за формирање креће се споља од спољне ивице контуре, ка средини. У случају TPIF процес је обрнут алат се помера из средишта ка контури.

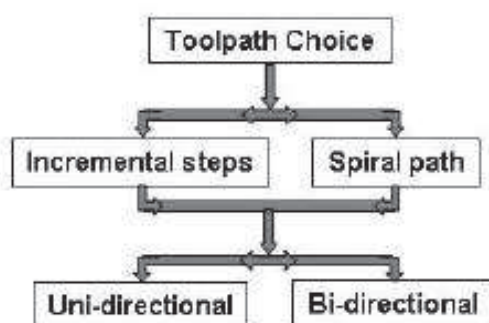


Слика 9: Приказ инкременталног обликовања лима, путања алата, као и приказ равни и алата

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

Да би SPIF био могућ у једном пролазу, део би требао бити прво оријентисан тако да се стрми зидови (што значи угао извлачења ϕ од 65 или више степени) прво смањују са ротирањем дела око осе x и y . Тада ће стрми зидови имати плићи угао у односу на z -осу, Ова почетна манипулација увелико омогућава лакоћу којом се део може успешно формирати. Једном када је радни план постављен, потребна је измена геометрије додавањем лажних површина да би се створио непрекинут обод од ивица дела до радне површине.

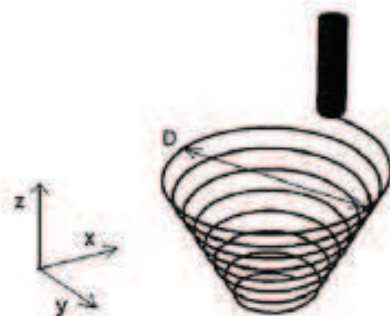
Једном када се CAD датотека модификује и „угради“ у њу површина лима, CNC траке за алат (toolpaths) морају бити направљене за те машине глодалице које користимо, односно које смо дефинисали. Било који расположиви CAM софтвер пакет се може користити са једнаким успехом. Због самог великог распона доступних пакета који се могу користити и развоја софтвера, само команде за одређене случајеве ће бити дискутоване. Постоји неколико избора за CNC контролу формирања алата као што је приказано на слици 10. Наредбе се разликују у зависности од софтверског пакета.



Слика 10: Погодни путеви алата за SPIF

Први корак за CAM део је провера CAD датотеке визуелно за потенцијалне грешке помоћу графичког интерфејса и након тога се стварају путеви алата. Алатне стазе (Toolpaths) се могу поставити било за грубу, било за завршну обраду. Разлика између ове две грубости процеса јесте да су створене команде за ископавање(скидање) свих делова материјала као да се део бруши из чврстог блока, док поступак завршне обраде подразумева само фино обликовање (коначно) око површине геометрије. CAM софтвер није дизајниран за процес инкременталног обликовања, али употребом наредби за завршни пролаз генерисаће одговарајућа CNC упутства. Када је изабран пут алата за завршну обраду контура преостали потребни параметри обраде могу бити прилагођени процесу формирања. То укључује брзину увлачења, смањивање, пребацивање по свим површинама, филтрирање и прелазак.

Спирална путања је још један од начина кретања алата, али га CNC програми углавном недозвољавају. За сложене делове било је потребно и потребно је користити CAM програме који углавном не дозвољавају употребу спираних путања.



Слика 11: Спирална путања алата

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



6.4 Тачност процеса

Веома је важна тачност процеса као и тачност дела за обраду лима са аспекта технологије коју користимо нпр. при брзој изради прототипова уопште и при инкременталном формирању процеса.

Главни недостатак данас за асиметрични прираштај методе обликовања могу се налазити на достижном нивоу тачности: док би већина апликација наметала димензионалну тачност мању од 1 мм и значајни број категорија делова би захтевао $\pm 0,5$ мм као ниво толеранције, а нивои тачности о којима су извештавали истраживачи обично прекорачују ове границе. Брамлеи (истраживач) извештава тачност од $\pm 1,5$ мм за симетричне и ± 2 мм за асиметричне делове произведене од стране SPIF користећи путању алата за глодање из САМ модула. Дуж спољне ивице радног дела, одступања од унапред подешене геометрије дела може се ограничити употребом потпорних плоча. Док са друге стране Хирт (истраживач) за TRIF благе челичне делове пријављују се одступања реда величине ± 2 до 3 мм, зависно од дела геометрије, када се користи равна линија алата генерисана као стандардни алгоритам за контурирање САМ-а.

Поред очигледних нетачности алатних машина, узроци одступања од теоријског облика радног комада, одговарају програмираном путу алата а то су: геометријска изобличења услед напрезања, ширење и ефекти прекомерног спиновања који резултирају нежељеним испупчењима. При одређивању тачности процеса, следеће типичне карактеристике асиметричног инкременталног обликовања требају се узети у обзир. Систематично проређивање карактерише да процес може утицати на тачност, с обзиром да димензионалне грешке изазване стањивањем су обично истог реда величина као и наметнута одступања. То имплицира да тачност обраде треба одредити за било које друго конвексно или конкавно лице обратка. У зависности од изабраног лица, алатни пут би требао надокнадити предвиђено проређивање.

За СПИФ технологија:

-СПИФ технологија је у ствари комбинација технологије односно представља технологију која се базира на комбинацији испитавња на бази повећања температуре услед електричног статичког загревања и саме брзине ротације алата (ту се у ствари јавља параметер С који својим варирањем утиче на обраду) и сама комбинација ове две ствари се показала као ефективан начин за решавање односно за производњу материјала са којима је тешко радити попут титанијума и његових легура. Приликом тестирања Спиф методе омогућени су нивои температуре (600Ц до 1000Ц мање више), константно се мерила у самој зони обраде а брзине су у распону од 800-1600РПМ.

Прилика за формирање легуре титанијума може се представити путем процеса постепеног формирања (ИФ), који може да потпуно задовољи потребу за флексибилношћу и приуштивошћу, у складу са потребом за смањењем цене алата. Посебно асиметрични ИФ (који се обично изводи на ЦНЦ) дозвољава производњу било ког облика и скоро било ког материјала употребом хемисферског алата и уопштено без икакве потпоре фарбе. Највећа предност ИФ процеса самим тим лежи у високој флексибилности (облик дела дефинисан је једноставном манипулацијом покрета при бушењу): таква методологија је позната у литератури као постепено (инкрементално) формирање једне тачке (СПИФ), с обзиром да се тај процес мора одвојити од процеса делимичног или потпуног коришћења фарбе (постепено формирање две тачке), које се понекад користи како би се унапредила прецизност формираног дела. Испитивање самог напрезања материјала корисније ове две комбинације за СПИФ

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



7. TRIZ

7.1 Опис TRIZ-а

TRIZ (*Теорија решавања иновативних задатака*), акроним за теорију иновативног решавања проблема, јесте метод који омогућава подстицање креативног решавања проблема интеграције безбедности система, заснован на скупу података добијених из базе искуствених решења и функционисања сличног система. Један од основних циљева TRIZ метода је уклањање противречности у стваралачким решењима. Пре појаве TRIZ методе, решење неког специфичног проблема се тражило истог тренутка, испитивањима и исправљањем неминовних грешака. У садашњим условима јасно је да би такви, стари модели у спрези са добром праксом функционисали неефикасно у новим срединама уз значајно повећање ризика. Утврђено је да научној литератури недостаје метода стваралаштва нових решења и зато TRIZ метода користи принцип поновљивости. TRIZ истраживање започиње хипотезом да не постоје универзални принципи налажења креативног решења за сваки проблем заснован на бази иновација и напредних технологија. TRIZ метод је заснован на следећим принципима:

- Неко негде већ има решење за овај или сличан проблем.
- Креативност се у данашње време заснива у налажењу решења и његовом прилагођавању разматраном проблему.

Како би се пре свега избегла ограничења процеса производње, нужно је увести потпуно нове методе и принципе, који подстичу олакшање самих процеса. Наиме, TRIZ представља посебан вид методике, која пре свега игра важну улогу у фундаменталним процесима производње. Применом TRIZ приступа при решавању проблема ограничења, долази до видног унапређења перформанси.

Еволуција ТРИЗ-а може да се подели на неколико фаза, као што следи:

1946 – 1980. године

- Генриха Алтшулера можемо да сматрамо појединцем који је развио ТРИЗ; други су му само обезбеђивали повремену помоћ.

- Фундаментална открића била су урађена на основној идеји и инструментима који су развијени од стране класичног ТРИЗ-а.

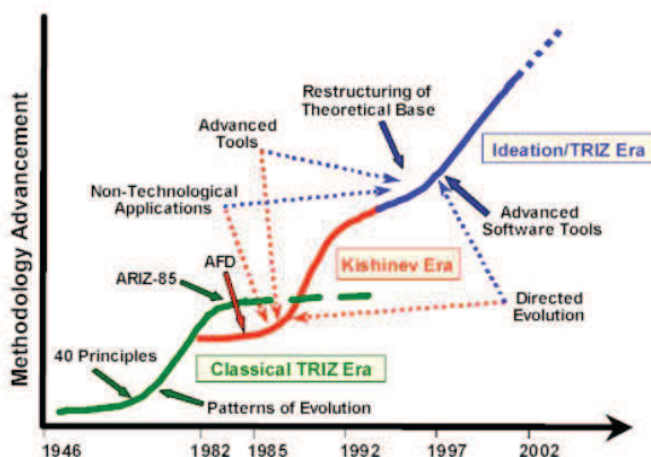
1980 – 1986. године

- ТРИЗ је добио публицитет у бившем СССР-у. Многи људи почели су да се диве ТРИЗ-у и Алтшулеру као првом ТРИЗ професионалцу. Појављују се други следбеници ТРИЗ-а.

- Алтшулер је постао високо ефикасан у развијању ТРИЗ-а, зато што је извео велики број семинара, основао различите ТРИЗ школе и уздигао појединце који су га следили, дозвољавајући извођење ригорозних тестирања идеја и инструмената ТРИЗ-а.

1986 – 1991. године - Савремени ТРИЗ

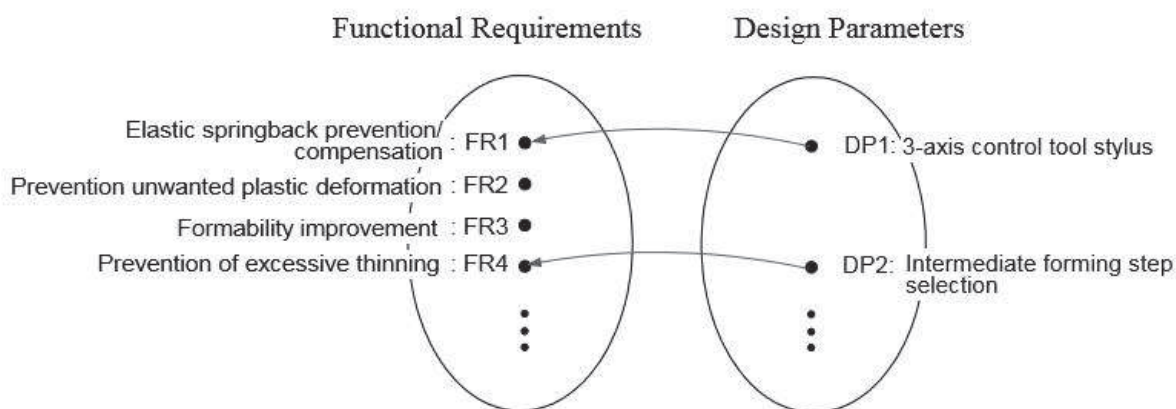
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



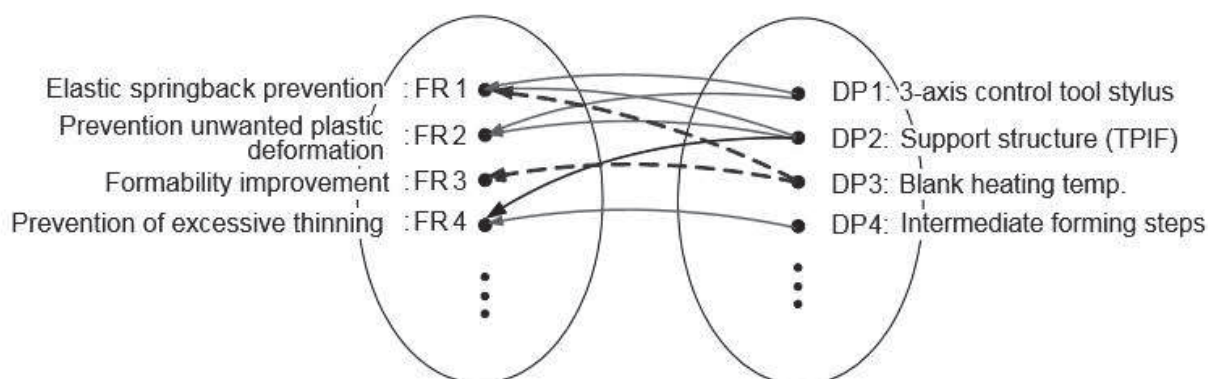
Слика 1: Развој ТРИЗ-а.

7.2 Аксиоматична анализа дизајна

Мапирање функционалних захтева (ФР) са параметрима инжењерског дизајна (ДП) приказано је на слици испод. Као што је видно из овог графичког приказа, основни SPIF поступак не пружа никакве степене слободе за контролу нежељене пластичне деформације у неподржане области радног комада у којима се може постићи висок ниво напона током процеса обликовања. Такође, поступак SPIF не пружа решење за ограничену могућност обликовања одређених категорија материјала, као што су Mg високе чврстоће или Ti-легуре на собној температури. Како је такав дизајн процеса непотпун, требало би додати додатне компоненте система да би се обезбедили довољни инжењерски параметри за добро оптимизовани дизајн. На слици приказано је еквивалентно FR-DP мапирање за варијанту TPIF процеса. Односи између оба простора илустрирају да аксиом независности није испуњен избором параметара TPIF дизајна. У ову слику су укључени и додатни односи са функционалним захтевима када би се систему грејања за цео радни део додао процес подешавања процеса. Јасно је да се степен повезаности додатно повећава. Провера усаглашености са захтевом независности како је формулисано у теорији аксиоматичног дизајна тако указује да, чак и ако би човек био вољан да смањи флексибилност процеса инкременталног обликовања поново увођењем делимичног или потпуног уметка у систем супротног притиска, то не резултира у повољном дизајну процеса. Стога је потребно алтернативно унапређење поставки процеса.



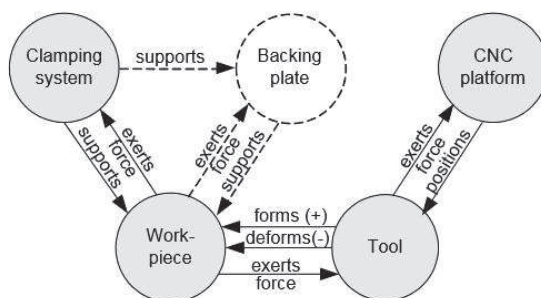
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 2: Функционални захтев за дизајнирање мапирања параметара за основни СПИФ

7.3 Su-Field анализа

Анализа Su-Field поља пружа дубљи увид у системске сукобе које треба решити. Сажетак такве анализе дат је на слици.



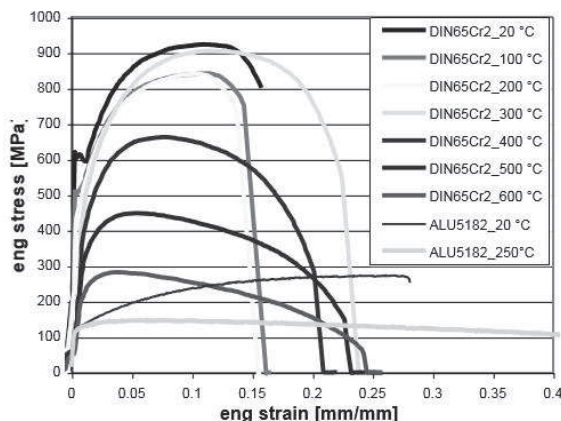
Слика 3: Преглед анализе Su-Field за подсистеме у основном SPIF окружењу

Конфликтни односи могу се открити у интеракцији између обратка и алата. Док је локални процес, контролисан ефекат обликовања пластике у зони контакта са алатом циљ овог процеса, нежељене деформације се често истовремено уводе у подручја обратка која нису у контакту с алатом. Ове деформације су резултат прекомерног нивоа напрезања који су повезани са преношењем силе на систем стежања (или систем ослонца потпорне плоче). Проблем који треба решити може се формулисати на следећи начин: „Идентификовати системско побољшање које омогућава локално обликовање лима од материјала обраде без уношења нежељених пластичних деформација у подручје које није у контакту с алатом“. Да би се ово постигло без поновног увођења скупа матрица (TPIF), могле би се применити следеће стратегије:

1. Смањити принос материјала за обраду у обрађеној области (да би се смањило ниво силе процеса).
2. Ограничити понашање очвршћивања материјала за обрађени предмет у обрађеном простору (из истог разлога).
3. Повећање чврстоће попуштања материјала обрађеног материјала у необрађеном простору (како би се избегла пластична деформација)
4. Максимизирање понашања очвршћивања материјала у овом необрађеном простору (из истог разлога). Очигледно је да стратегије 1 и 2 нису компатибилне са мерама 3 и 4, што доводи до идентификације јасног физичког сукоба: како се може одабрати да је материјал с једне стране чврст и тешко да се деформише са друге стране. Позивање на често коришћену технику предгревања материјала како би се побољшала облик и смањила

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

процесне силе овде не пружа решење. Заправо, иако би ово формирало методу имплементације за стратегије 1 и 2, то би истовремено довело до слабљења материјала у зонама у којима треба избећи нежељену пластичну деформацију (у супротности са стратегијама 3 и 4).



Слика 4: Утицај температуре

TRIZ даје одговор кроз принципе раздвајања:

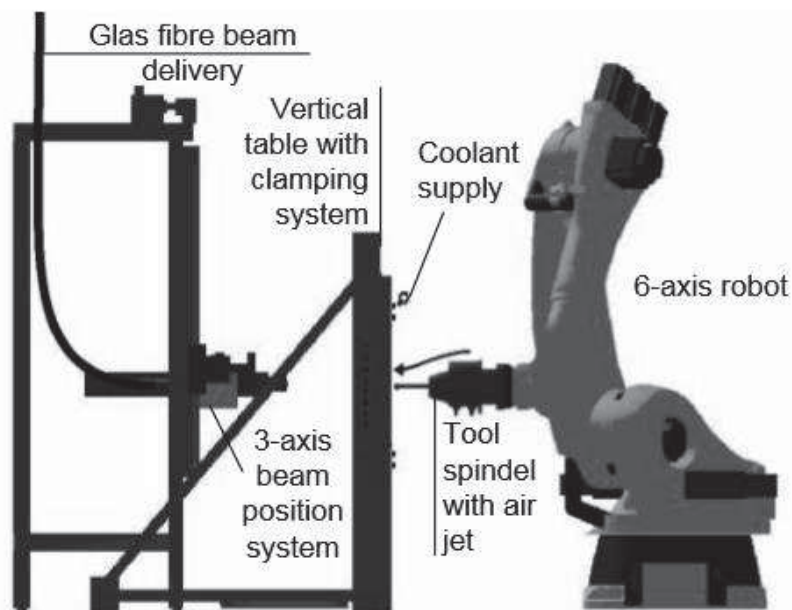
1. Одвајање у простору
2. Раздвајање у времену
3. Раздвајање целог система и његових делова
4. Раздвајање на основу различитих (спољних) услова

Комбиновање супротних захтева четири стратегије заиста може не може се постићи за цео радни комад истовремено. Међутим, кроз принципе одвајања у простору и времену, може се предвидети разликовање својстава материјала између различитих зона обратка.

Пошто се контактна зона стално мења, ова се локализација мора примењивати динамички. Примена грејања лимова на локализовани начин (принцип 1) и динамички (принцип 2), због тога је сматрана обећавајућом стратегијом унапређења процеса. За то би било потребно локално снабдевање топлотом током процеса, а не равномерно загревање лимова. Поред тога, да би се осигурало локално загрејано место у зони обраде, потребно је и активно хлађење околног подручја, што резултира јасним градијентом температуре између зоне контакта алата и подручја обраде, где неконтролисана деформација није пожељна.

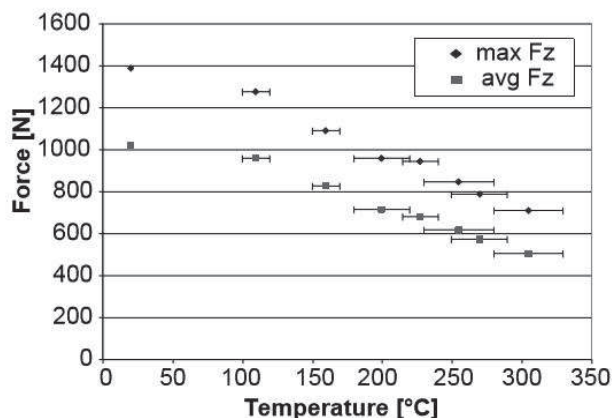
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

7.4 Редукција силе



Слика 5: Експериментална конфигурација намењена за SPIF методу

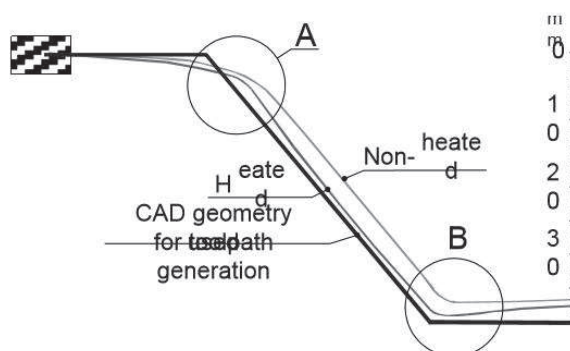
Коришћењем сензора силе монтираног на зглобу робота, може се приказати смањење процесних сила за SPIF са динамичким потпорним грејањем, у поређењу са формирањем на собној температури (приказано је на слици испод).



Слика 6: Силе измерене дуж Z осе алата у функцији локалне температуре грејања у зони контакта с алатом. Са ове слике се може приметити да се одабиром одговарајуће температуре грејања доминантна компонента силе паралелна оси алата може смањити на приближно 50%. Очигледно је да се резултирајући нивои напрезања у близини зоне контакта са алатом умањују у складу са тим, чиме се ефективно смањују подручја у којима је прекорачена јачина приноса материјала. Може се очекивати да ће то довести до систематског побољшања тачности, као што је илустровано у следећем одељку.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

7.5 Побољшање прецизности



Слика 7: Побољшање прецизности конусног радног комада са назнаком предвиђене геометрије CAD-а која се користи за производњу алата.

Слика приказује утицај локализованог загревања на укупну тачност обратка. Треба напоменути да је у основном експерименту примењено константно загревање. С једне стране то доводи до побољшаног приближавања предвиђене геометрије CAD-а, нпр. у зони А. Међутим, локално загревање такође резултира формирањем угиба у зони Б (доња површина дела се не обрађује). Правовремено искључивање грејања, у складу са принципом одвајања, могло би да дозволи да се овај ефект сведе на минимум.

7.6 Побољшање формабилности

Неки материјали су познати по ограниченој употребљивости у условима околне температуре. Листови дебљине 0,6 мм коришћени су за упоређивање понашања за обликовање у динамички загрејаним условима са резултатима испитивања добијеним на температури околине. Конусни облици с максималним спољним пречником 140 мм и повећањем угла зида формирани су помоћу плоче са потпорном плочом од 180 мм. Коришћен је спирални пут алата са континуираним кораком (нагибом) од 0,5 мм. Почетна брзина пуњења работа је постављена на 1000мм / мин. Ова брзина пуњења варирана је за неке од динамички загрејаних тестова како би се осигурала константна густина уноса енергије за различите ласерске пречнике тачке (тестови пречника 14 и 15 мм).

Non-heated		Heated			
wall angle [°]	obtained result	wall angle [°]	spot size [mm]	energy input [J/mm ²]	obtained result
30	OK	45	12.0	0.875	OK
35	failed	50	12.0	0.875	OK
32	OK	55	12.0	0.875	failed
34	failed	53	12.0	0.740	OK
33	failed	55	12.0	0.740	OK
		57	12.0	0.740	failed
		56	12.0	0.740	failed
		56	14.0	0.740	OK
		57	15.0	0.740	failed

Табела 1: Резултати испитивања формабилности за 0.6мм TiAl6B4.

Поступак SPIF анализиран је како би се идентификовали основни сукоби система. У ову сврху коришћене су две методе. Прво је коришћена анализа да се идентификују недостатака у избору дизајнерских параметара који одговарају садашњим SPIF имплементацијама. Ово

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



је олакшало идентификацију релевантних сукоба између подсистема производног процеса у Su-Field анализи.

На собној температури (20 ° C) било је могуће формирати конусе са углом нагиба до 32°, док су тестови са већим углом зида довели до пукотина пре него што је досегнута дубина од 30 mm (видети Табелу 1). Са ефективним улазом снаге мањим од 200W, максимални угао формирања могао би се значајно померати. Различити пречник тачке и ниво уноса енергије омогућавали су формирање конуса са угловима нагиба до 56°. Оптимизација температурног поља прилагођавањем услова хлађења може омогућити додатно повећање ове границе. Слични тестови су показали пораст формабилности за материјале са вишом формабилношћу и на собној температури. 65Cr2, листови дебљине 0,5 mm могу се, на пример, формирати у конусе са угловима нагиба до 57° на собној температури без пукотина пре него што се досегне дубина од 40 mm. За производњу узорака у динамичким условима грејања коришћени су исти параметри материјала, алата и процеса. Осигуравајући температуру процеса у зони формирања од око 350° C, делови су направљени са углом зида 64°, а да се није догодио никакав квар. Према синусном апроксимацији, а у погледу главног напрезања, повећавање нагиба зида од 7° одговара повећању напрезања од 44,5%.

8. Предности и мане АИО

Предности и мане су приказани у табели 1.

Табела 1. Приказ предности и мана АИО

Предности	Мане
Израђују се корисни делови директно из ЦАД окружења са минимално прилагођеним алатом	Дуже време израде него извлачењем
Израђују се прототипски делови мале серије	Процес је ограничен на малосеријску производњу
Нису потребни скупи калупи осим у случају постизања тачних углова	Формирање правих углова се не може обавити у једном кораку већ су потребни поступци у више корака
Висока флексибилност димензија и изгледа делова	Долази до повратног опустања
Лака израда прототипова	
Због мале зоне пластичности и инкременталне природе процеса, повећава се деформабилност лима	
Могу се користити конвенционална или нумерични управљана глодалица или струг	
Димензија дела је ограничена само еличином машине	

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Силе се не повећавају у зони обраде због малог инкременталног корака

Храпавост дела се може побољшати

Метода је тиха и без буке

9. Опрема за инкрементално обликовање

Опрема за инкрементално обликовање, као што је раније поменуто, се састоји од алата за обликовање, машина за његово кретање и држача лима. Од алата се најчешће користе чврсти алати али последњих година у обзир долазе и друге врсте.

- Чврсти обликачи:

Чврста глава облика хемисфере се најчешће користи у процесу АИО. Она најбоље осигурава континуиран додир између лима и обликача. При добијању врло стрмих углова може се користити мањи држач за алате са врхом облика сфере. На тај начин се избегава контакт између шипке и лима.

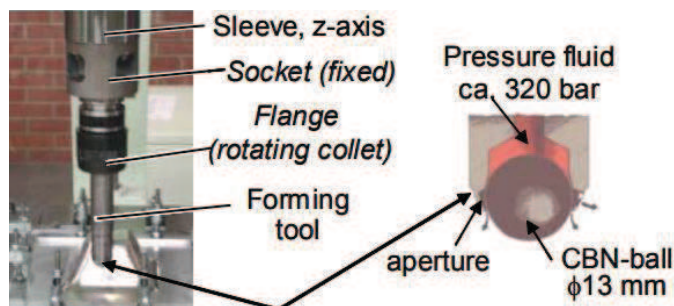
Када се одабере облик и дужина алата следи одабир радијуса алата при чему се обично бира врх са куглицом (слика 6.1).



Слика 6.1 Пример изгледа алата за обликовање

У већини случајева тај врх је израђен од алатног челика како би се повећао радни век алата и омогућила његова широка примена. Да би се додатно смањио утицај трења врх може бити цементиран. За неке обраде је потребно да алат буде од пластике да би се избегле хемијске реакције са лимом и на тај начин повећао квалитет површине. Подмазивање такође помаже у смањењу утицаја трења. Следеће што је потребно одабрати је радијус куглице алата.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 6.2 Универзална глава са куглицом [1]

Пречник главе (слика 6,2) може бити од 6 мм за мале пречнике па све до 100 мм за израду већих делова. Најчешће се користе пречници од 12 и 12,5 мм.

- Друге врсте обликача:

Осим чврстим обликачем, ИО се може вршити и воденим млазом, ласером или ударима малих куглица.

Удари малим куглицама се користе код материјала који су склони пуцању. Удари куглицама обликују лим као што се то ради обичним обликачем. Куглице које се користе могу бити направљене од ливеног челика, стакла или керамике и величине им варирају од 0,125мм до 5мм.

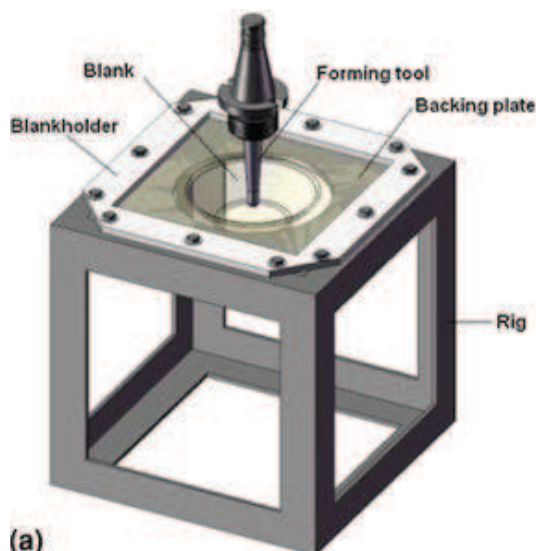
Обрада воденим млазом подразумева постепено испупчивање лима услед удара воденог млаза. За постизање испупчивања потребни су притисци до 50 МПа и већи протоци воде до 50 л/мин.

Ласерско обликовање се постиже тако што се локално загрева мала површина лима а потом хлади и тако долази до његовог савијања у жељеном правцу.

Коришћење ових других "обликача" се сматра за новост па се њихова употреба у индустрији јошувек тестира.

- Држачи лима

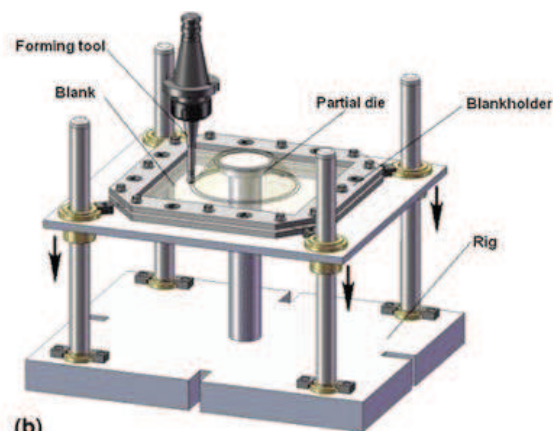
Има функцију да чврсто држи лим а такође и да ,према потреби, обезбеди његову покретљивост у току обраде ради добијања треће димензије дела. За АИО са једном тачком ово је крута конструкција која се састоји од металне плоче и четири стуба на који се стеже лим (слика 6.3).



Слика 6.3 Држач лима за АИО са једном тачком

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

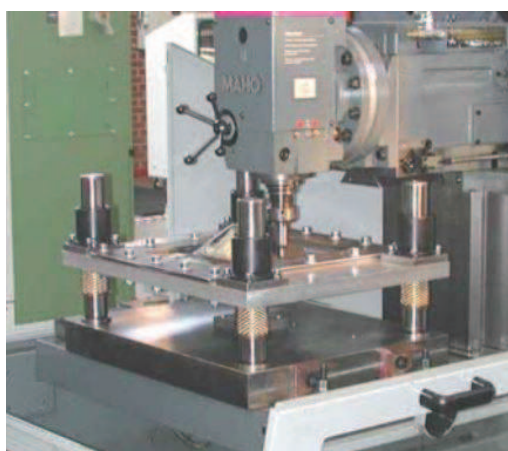
За АИО у две тачке метална плоча је покретна ради добијања треће димензије и има могућност додавања помоћних калупа (слика 6.4).



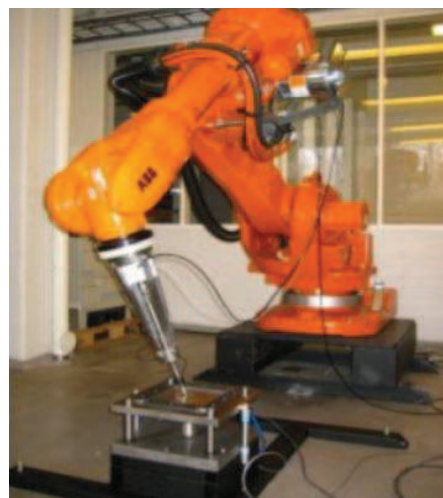
(b)
Слика 6.4 Држач лима за АИО са две тачке

- Машине за ИО

Машине које се могу користити за ИО су *CNC* троосне глодалице серијске кинематике, роботи серијске кинематике, машине алатке и роботи за паралелном кинематиком и специјализоване машине за ИО. Примери ових машина и њихове примене су приказани на слици 6.5.



a)



б)



Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



в) г)
Слика 6.5 Примена а) конвенционалне троосне глодалице; б) робота са серијском кинематиком; в) МА са паралелном кинематиком; г) Специјализоване машине за ИО

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



10. Утицај почетне величине зрна на процес тачкастог инкременталног обликовања за танке металне плоче и микроделове: експериментална истраживања

Ћузепе (и други аутори) су истражили ефикасност употребе различитих материјала, као и начине уштете енергије у процесу утискивања и процесу инкременталног обликовања. Њихови резултати су показали да се наведени процеси значајно међусобно разликују по питањима утицаја на животну средину, зато што су потребна енергија за извођење процеса производње разликују за оба процеса значајно, као што се и разликује потенцијална уштеда материјала.

Најчешће коришћени материјали у инкременталног обликовању су легуре челика и алуминијума, мада су спроведена бројна истраживања која су испитивала процес формирања коришћењем других породица материјала. Френцен и Мартинс су израдили студије о инкременталног обликовању ПВЦ плоча, док су Џенсон (и други аутори) израдили студију о инкременталног обликовању на сендвич-панелима (плочама) састављене од пропилена са благим челичним и алуминијумским металним пенама и алуминијумских металних плоча. Поред наведеног, користе се и друге легуре, а посебно за примену у медицинској индустрији- легуре хрома и кобалта, нерђајућег челика и титанијума.

Материјал коришћен у овом истраживању је монофазна ФПГ бакарна фолија са почетном дебљином t од 0,21 мм и почетном тврдоћом од 124 НV. Овај материјал је изабран због своје изванредне проводљивости и добре снаге и могућности обликовања, и потенцијалне употребе у електроници. Хемијски састав легуре представљен је у табели 1.

Табела 1 - Хемијски састав ФПГ легуре бакра

Легуре елемената	Cu	Fe	P
Састав [%]	99.87	0.1	0.003

10.1 Експерименталне методе

Да би се уклонили ефекти текстуре котрљања и да бисмо добили различите величине зрна, девет серија је анелирано током једног сата на температурама од 350 до 750 ° целзијуса.

Слободна површина је припремљена употребом механичког поступка полирања. Узорак је прво уграђен, а затим полиран да би се постигао раван део. Коначна обрада гвожђе хлоридом коришћена је за истицање граница зрна.

Табела 2 - Величина зрна различитих загрејаних (нажарених, анелираних) узорака

Број	Температура жарења (°C)	Време жарења (h)	Просечна величина зрна d (μm)	$\Phi = t/d$
1	350	1	11	19
2	400	1	12	17.5
3	450	1	13	16.1
4	500	1	14.5	14.5
5	550	1	15	14
6	600	1	17	12.3
7	650	1	22	9.5
8	700	1	27	7.7
9	750	1	32	6.5

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Просечна величина је добијена методом линеарног пресретања [26] и анализирана је од слободне површине лима. Ова норма дефинише просечну величину зрна за поликристални материјал утврђујући број зрна који прелазе преко мерне линије која мора бити довољно дугачка да омогући најмање 50 пресретања на сликама микроструктуре. Просечна величина зрна је затим одређена дељењем укупне дужине са бројем пресечених зрна. Два узорка и пет насумичних положаја се користе ради осигуравања поновљивости и хомогености термичке обраде. Величина зрна је контролисана у распону од 11 до 32 μm у свим узорцима. Просечне величине зрна d различитих анелираних узорака су приказане у Табели 2.

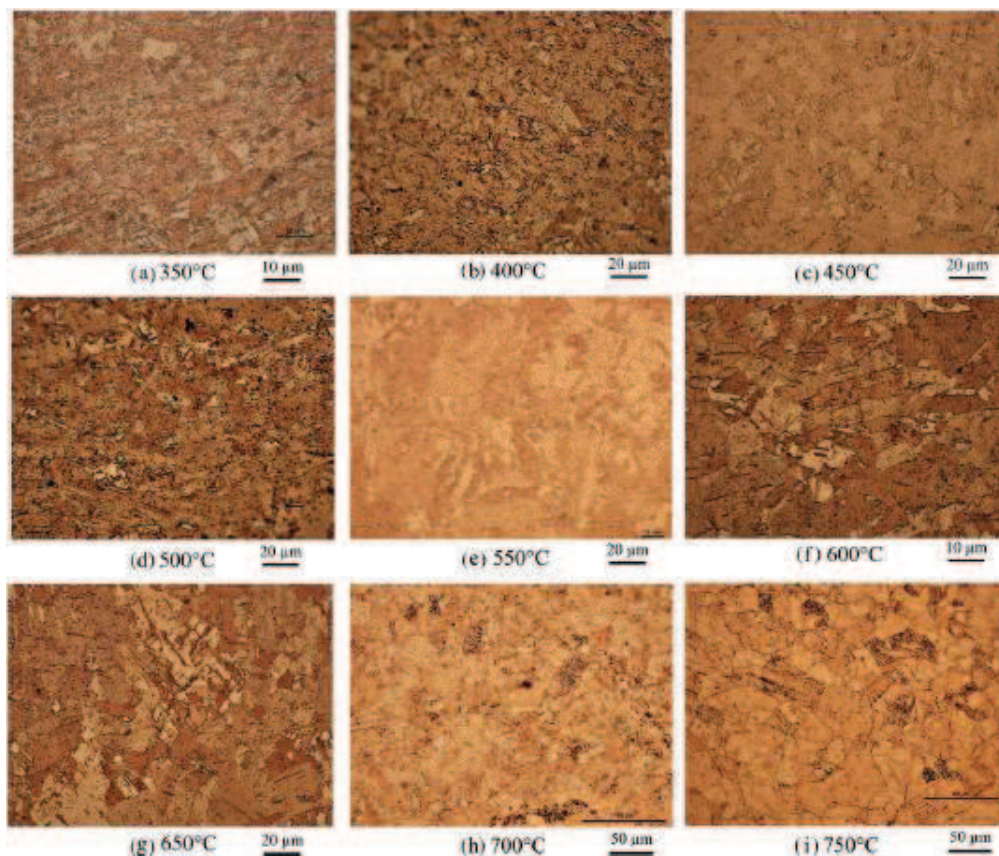
Може се приметити да се величина зрна повећава са температуром анелирања. Утицај дебљине узорка t и просечних величина зрна d квантификују се односом $\Phi = t/d$. Физичко значење овог параметра повезано је са бројем зрна кроз дебљину материјала. Уобичајено је да се приликом смањивања димензија узорка тај однос мења и ефекти величине долазе до изражаја.

Када се дебљина металних плоча посматра на малој скали, понашање материјала и физика која управља микрообликовањем нису идентични у односу на оне примећене на макро-скали. Недавна истраживања су усмерена на развој микро-инкременталног формирања танких плоча метала (лимова). Дежардин, Обикава, Секине, Тошијуки (и други аутори) су показали могућност коришћења наведеног процеса ради формирања микро делова, односно танких металних плоча (лимова) од бакарних легура, као и фолија нерђајућег челика, титанијумских и алуминијумских фолија. Ради анализирања квалитета ових компонената, потребно је испитати сила формирања, расподелу деформација и граница формирања на микро-скали.

У овом раду су извршена испитивања тензионог и инкременталног обликовања како би се истражио утицај почетне величине зрна на понашање материјала танких металних плоча. Циљ овог истраживања је да прикаже ове ефекте, како би их узели у обзир током моделовања и симулације микро-инкременталног формирања плоче коришћењем једне тачке (тачкасто формирање) од танких плоча и микро делова.

Слике микроструктуре снимљене су оптичком микроскопијом. Пошто је величина зрна по питању дебљине фолије ограничена, вредности величине зрна су процењене дуж слободне површине. Слика 1 приказује неке микроструктуре узорака узетих са слободне површине.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 1: Металографија ФПГ бакарне фолије за различите услове термичке обраде.

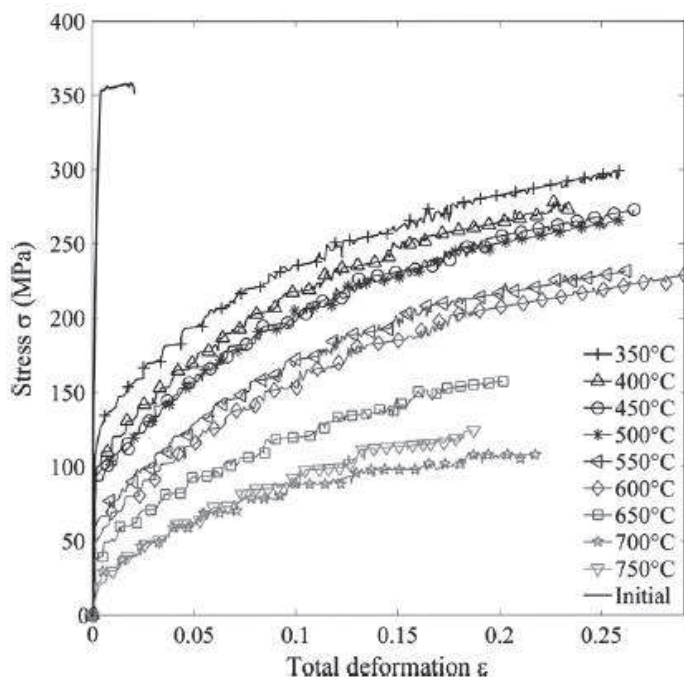
10.2 Тензиони тестови

Изведена су једноосна тензиона испитивања термички обрађених узорака на собној температури на ИНСТРОН тест машини. Мерења издужења ΔL испитиваних узорака извршена су ласерским екстензометром. Попречна брзина машине за испитивање је била 0,03 mm/s за сва испитивања, а сила реакције F је измерена начином оптерећења ћелије са опсегом мерења од 0-25 kN. Узорци су издужени до тачке лома и добијене су криве стрес-напрезање. Извршена су по три испитивања за сваки однос Φ на такав начин да се минимизира експериментално одступање. Узорци плоча дебљине 210 μm припремају се са неколико просечних величина зрна. Тензиони узорци секу се поступком обраде жичних електричних пражњења (WEDM) из равних хладно ваљаних лимова. Почетни листови се користе у поступку прецизног бланковања, а њихов почетни облик је представљен лајсном омотаном око цилиндра. Пречник цилиндра је довољан да не изазове преднапрезање или почетну пластичну деформацију.

10.2.1 Затезно понашање

Криве напрезања за ФПГ бакарну фолију у почетном стању и са различитим величинама зрна су дате на слици 2.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Слика 2: Крива напрезања са различитим варијацијама величине зрна

Можемо приметити значајну разлику између деформационих својстава анелираних металних плоча (лимова) карактеризованих проводним понашањем и деформационих својстава ваљаног материјала који показује велики проток стрес и мале фрактуре напрезања. Тензиони тестови показују значајне разлике у понашању анелираних узорак. Тестови нам показују да контролни параметри анелирања могу довести до побољшане проводности и снаге материјала.

Ови тестови истичу утицај величине зрна на проток стрес; може се видети да се проток стрес смањује са повећањем просечне величине зрна. Ова појава је последица такозваног Hall-Petch (Хол-Печ) ефекта, који каже да материјал веће величине зрна показује мању снагу од материјала са мањом величином зрна.

Затезна испитивања анелираних узорак такође су открила снажан утицај односа Φ на механичко понашање ФПГ бакарне фолије. Примећујемо да се прави стрес смањује са смањеним бројем зрна кроз дебљину.

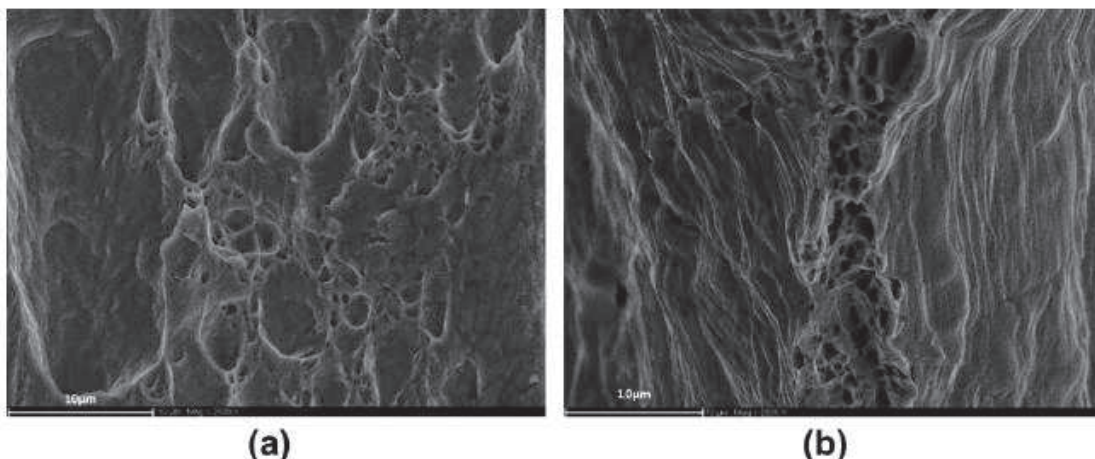
Резултати показују да је однос $\Phi(t/d)$ посебно занимљив јер се може користити као прелазни критеријум понашања. Овај однос има значајан утицај на механичка својства ФПГ бакарне фолије, посебно у опсегу између 12.3 и 19 где је примећено значајно побољшање снаге и проводности.

Опадањем броја зрна у односу на дебљину фолије-плоче, еластично-пластично понашање металне фолије бива одређено уз само неколико грубих зрна. За време тензионог теста примећено је интензивно омекшавање за односе мање од критичне вредности $\Phi = 12.3$.

Ова промена понашања са смањењем односом Φ се објашњава појавом типичне топографије фрактуре која се мења од типичне морфологије проводног лома приказујући пукотине и празнине (Слика 3а) до мешовите топографије: облика ивица ножа и проводног прелом (Слика 3б).

На слици 3 приказана је фрактографија тестираних узорак: а. $\Phi = 19$ и б. $\Phi = 6,5$

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



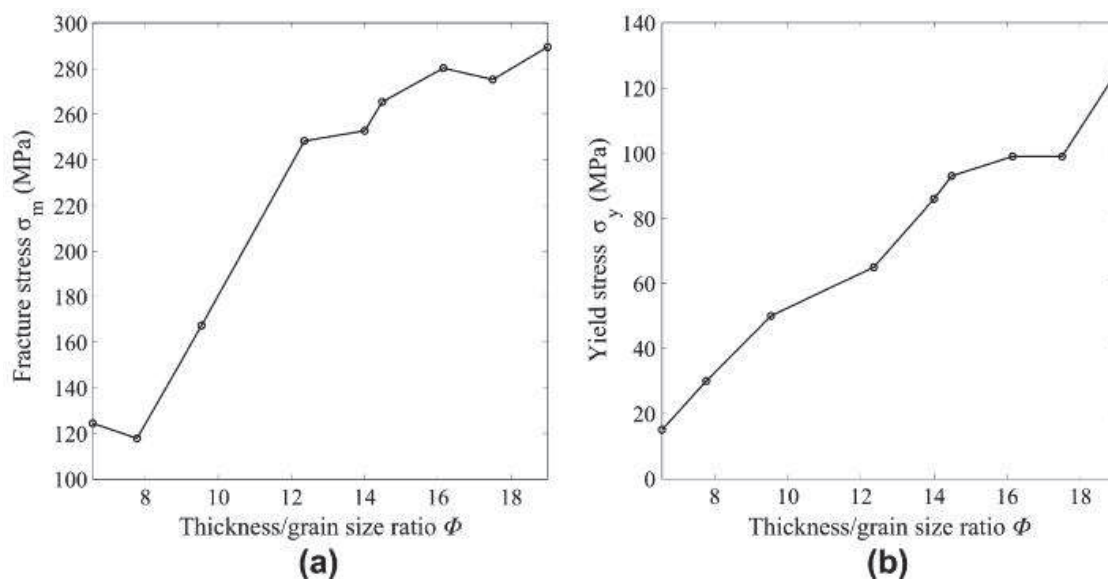
Слика 3. Фрактографија тестираних узорака: а. $\Phi = 19$ и б. $\Phi = 6.5$

Фрактографија тестираног узорка са $\Phi = 6,5$ (Слика 3б) показује осетљивост на фрактуру -ивице ножа- која је већа од фрактуре -проводног прелома-, чиме се објашњава смањена пластичност за $\Phi < 12,3$. Утврђено је да проводност и број микро-пукотина на површини лома опадају са опадајућим односом узорка у поређењу са величином зрна.

Мијазаци и Шибата су већ приметили овакво понашање, у литератури, за бакар и алуминијум. Они су показали да су критичне вредности односа $\Phi = 10$ за бакар и $\Phi = 5$ за алуминијум. Узорци који одговарају малом односу показују малу снагу и слабу проводност што доводи до превременог лома током затезања.

Варијације приноса и напрезања лома приказане су на слици 4. Када однос Φ варира од 19 до 6.5, напрезање лома и фрактуре се монотонно смањују са 290 до 124 МПа (Слика 4а) и са 125 на 15 МПа (Слика 4б).

Овакав пад примећен је и у неколико других истраживања. Он се може протумачити чињеницом да величина зрна постаје реда величине дебљине лима. Одатле следи да је материјал асимилиран у расподелу монокристала са мање напрезања у суседним зрнима. Из тога се закључује да се активира само мали број клизних система да би се извршио процес деформације, што може да објасни ниске вредности напрезања лома.



Слика 4. Утицај Φ на: (а), стрес лома и (б). приносно напрезање

Инверзна метода се користи за одређивање параметара отврдњавања пластике. Алгоритам за оптимизацију Левенберг-Маркуард се користи путем MIC2M идентификационог

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



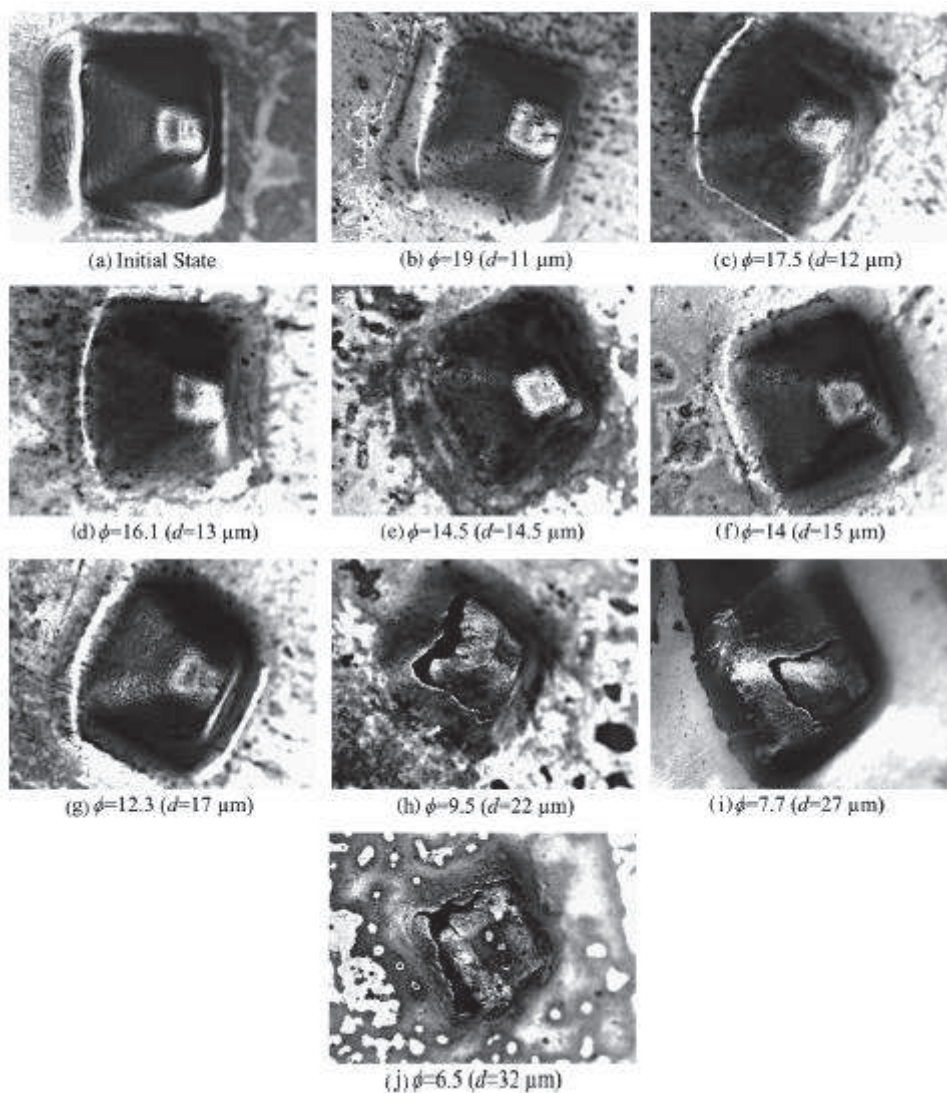
оквира алата који је предложио Ричард. Резултати идентификације за сваки параметар материјала за сва испитивања дати су у Табели 3.

У табели 3 су приказани параметри материјала.

$\Phi = t/d$	σ_y [MPa]	Q [MPa]	b
19	125	188	8
17.5	99	200	9
16.1	99	201	8.33
14.5	93	194	8.5
14	86	188	9
12.3	65	198	8.5
9.5	50	140	9
7.7	30	98	11
6.5	15	125	10

При чему су: σ_y је приносно напрезање, Q вредност засићења и b управља прелазном брзином између σ_y и $\sigma_y + Q$.

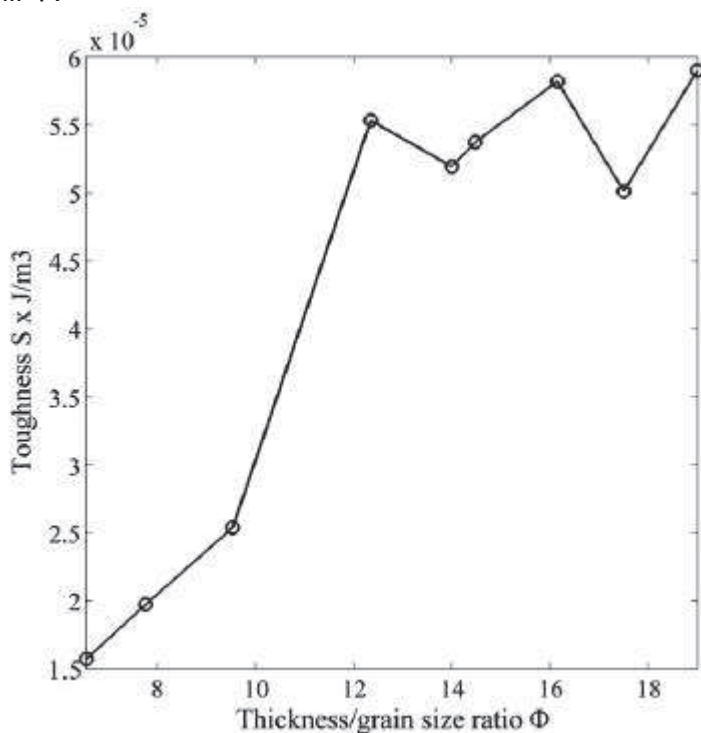
На слици 5 налазе се експериментални резултати: спирална путања.



Слика 5. Експериментални резултати: спирална путања.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

Развој ϵ_y параметра омогућава квантификацију способности материјала да се одупре ломљењу и потврђује критичну вредност $\Phi = 12.3$. Испод ове вредности долази до наглог опадања отпорности и показује нам ограничену деформабилност. Развој напреазња при ломљењу такође омогућава приказивање исте варијација (Слика 4). Развој отпорности према односу Φ приказана је на слици 6, показано је да овај фактор утиче на S , отпорност се повећава са порастом Φ .



Слика 6: Развој отпорности према односу Φ

Танке празне плоче ФПГ бакра у почетном стању и са девет различитих величина зрна d формиране су да би се добила пирамидална геометрија користећи две различите (претходно дефинисане) стратегије.

Ефекат величине зрна материјала на део који се формира је јасно видљив на Слици 5. Делови са већим величинама зрна имају испуцану геометрију за разлику од делова мале величине зрна који резултују у производима који одговарају траженим облицима који су доброг квалитета.

Делови који имају веома мали број (одн. неколико) зрнаца по дебљини плоче показују дебеле пукотине, из разлога што долази до деградације механичких својстава са повећаном величином зрна.

Процењена је критична вредност односа Φ (близу 12,3) и идентификована су два понашања.

Прво, онда када је када је $\Phi > 12.3$, крива показује тенденцију засићења након врха и показује низак негативан градијент као резултат великог стањивања током претходне фазе истезања. После неколико милиметара дубине равнотежа између истањивања и истезања и рада отврдњавања и мери се равномерна сила формирања.

Друго понашање се дешава када је $\Phi < 12.3$ за које крива силе формирања монотонно опада после врха. У овом случају стањивање материјала има најзначајнију улогу и очвршћивање материјала није довољно за постизање равнотеже. У овом случају долази до пропадања материјала.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



10.3 Закључци експеримената

Овим радом су извршени тензиони тестови ФПГ бакарних фолија са зрнима различите величине. Урађена је серија експерименталних тестова тачкастог инкременталног формирања на епрувете са неколико различитих величина зрна да би испитали ефекат величине зрна на формирање сила. Ради представљања развоја протока материјала, предлаже се и идентификује специфичан закон очвршћивања у односу на Ф-вредност. Тај развој је у складу са Хол-Печ ефектом. Такође се предлаже аналитички модел који би представљао развој аксијалне силе формирања током процеса.

Овим истраживањем долазимо до и изводимо следеће закључке:

- Стрес приноса, затезна снага и проводност опадају са опадајућим односом величине узорка у поређењу са величином зрна.
- Без обзира на дебљину материјала, деформабилност за процес инкременталног обликовања се смањује како се однос t/d смањује.
- Силе формирања показују одличну повезаност са резултатима тензионих тестова. Показано је смањење нивоа сила формирања у односу на величину зрна, које је у складу са Хол-Печ ефектом.

У даљој обради материје, може се увести ефекат величине у моделе штете користећи се инкременталним процесом формирања у циљу прецизнијег предвиђања понашања специфичних материјала током процеса. Поред тога ште ће допринети предвиђању ризика од пуцања, истраживање може да помогне у циљу проналажења фрактура и других значајно оштећених зона у узорку, ради контроле и оптимизације микро-ИСФ процеса.

11. Примена инкременталног обликовања

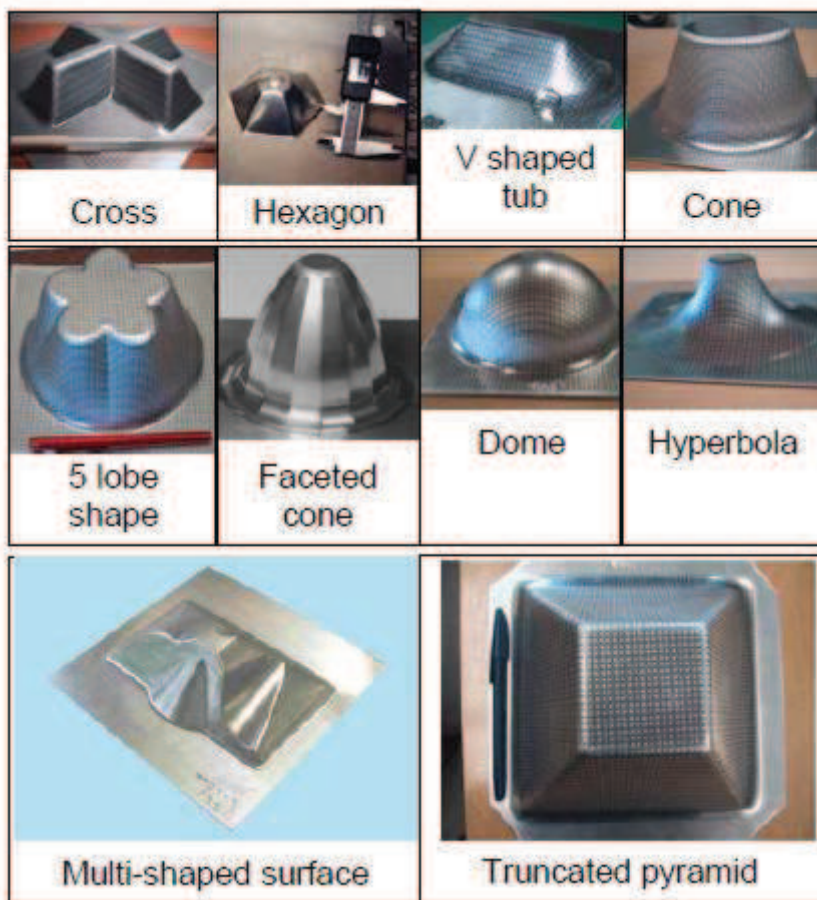
У овоме пројекту је спроведено истраживање како би се утврдио стабилни технолошки процес израде танкозидних производа технологијом инкременталног обликовања у једној тачки (SPIF – single point incremental forming). Претпостављено је да је могуће применити технологију инкременталног обликовања на танкозидни лим. Технологија инкременталног обликовања у једној тачки (SPIF) може се применити у сериској, малосериској и појединачној производњи.

- Примери примене:

Главна предност асиметричног инкременталног обликовања је да може да се употреби за израду асиметричних делова веома брзо и економично, без употребе скувих димензија облика. Коришћени облици могу да покажу способност одрживости процеса и они су приказани у табели 8.

Табела 8: Облици који се користе за демонстрирање одрживости процеса и за експерименте.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



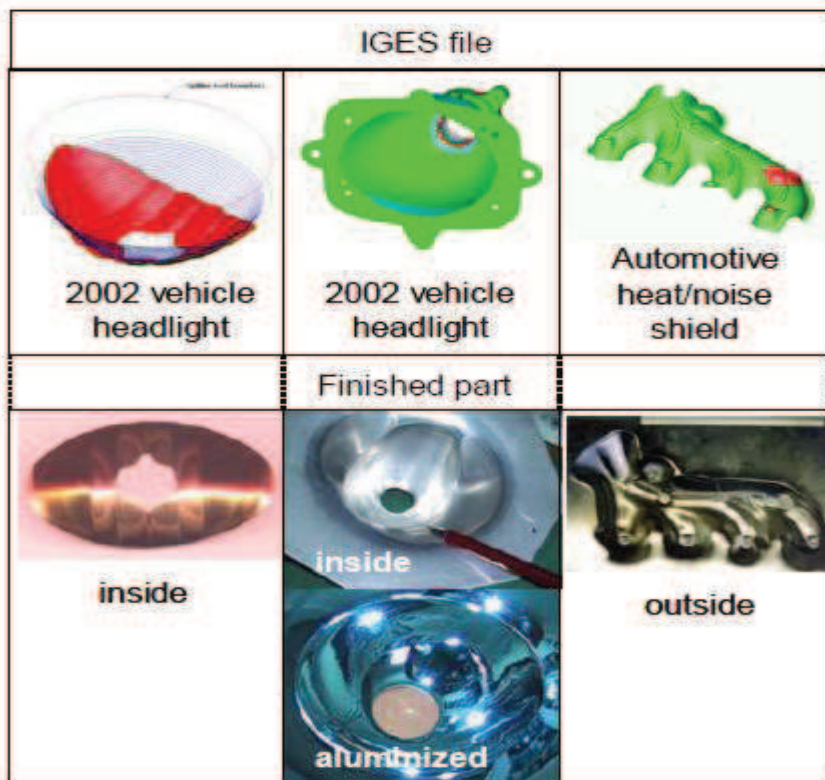
Неки од приказаних облика могу спровести опсежне експерименте у одређивању максималног угла извлачења ϕ , док се други користе за демонстрацију процесних способности.

11.1 Примери Rapid Prototype (Нови прототипови)

Rapid Prototyping технологије означавају читаву класу технологија којима је могуће директно из модела направљеног у CAD-у алатима створити његову физичку презентацију. Израда Rapid Prototyping (Нових прототипова) технологије, са лимом као основном материјала, даје део који се може директно користити у функцији којој је намењена. Једна је од главних предности коришћења поступка инкременталног формирања. Делови приказани у табели 9 намењени су дизајну који је рађен као прототипови за аутомобилску индустрију.

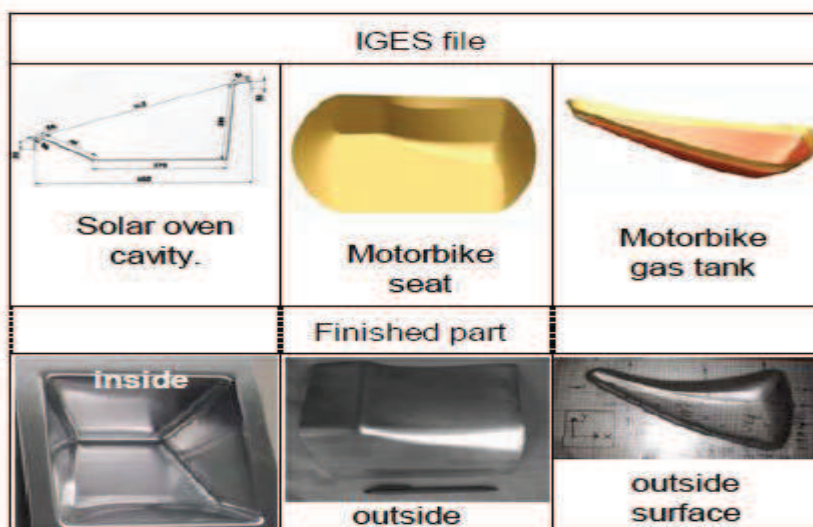
Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

Табела 9: Прототипови за аутомобилску индустрију.



У табели су приказани за прва два случаја рефлектоване површине прототипских фарова. Трећим случајем је приказан топлотни/шумски штит који се користи преко издувних разводника.

Табела 10 приказује примере прототипова направљених за не-аутомобилске примене. Први пример је шупљина соларне пећнице за употребу земљама у развоју. Последња два примера су за истог произвођача мотоцикли по мери, први је део за седиште за мотоцикле а други је део резервоара за гас.

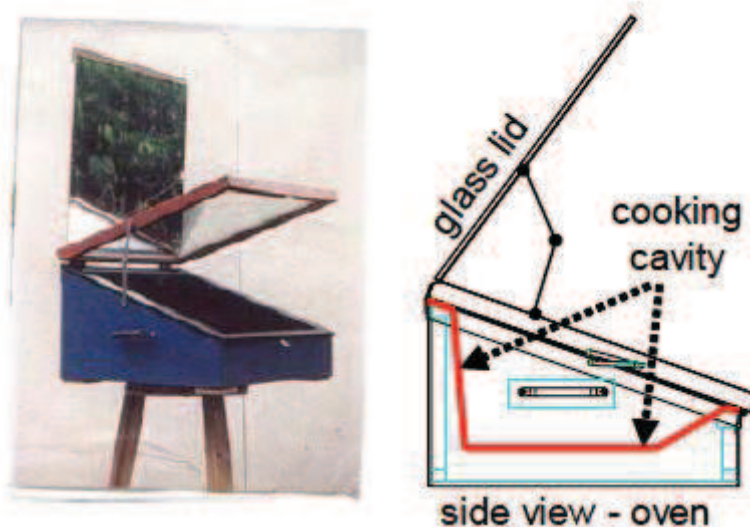


Табела 10: Примери прототипова направљених за не-аутомобилске примене

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

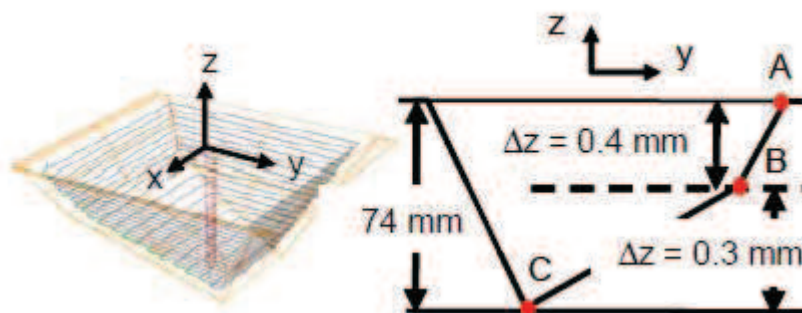
11.2 Израда соларне рерне по мери

SPIF процес омогућио је производњу алуминијумских шупљина пећнице економично и без одређених облика. Способност прављења шупљине од лима, омогућио је дизајнерима соларне рерне да јефтино редизајнирају друге делове производа и тиме смање трошкове и радну снагу у изради соларне рерне. Соларна пећница је дизајнирана за извоз земљама у развоју. Изворна шупљина пећнице направљена је од стакло-пластике и обојена је у црно. Главни недостатак је да је зид од стакло-пластике тежак 7 mm и да се дуже времена гради. Истражена је могућност употребе матрица за обликовање лима у соларну енергију и откривено је да шупљина за кување веома скупа. То доводи до разматрања SPIF-а од лима као начина производње. Слика 49 приказује како монтиране соларне пећнице раде.



Слика 49: Постављање соларне пећнице. Шупљина је приказана црвеном бојом.

Црвени облик је део коју формира SPIF. Тродимензионални модел је направљен у Unigraphics окружењу и слика 50 приказује детаље о моделу и подешавању.



Слика 50: Илустрација CAD-а и подешавања алата

Укупна дубина модела је 74 mm. Корак за сваки пролаз се другачије подешава за два приказана одељка је; $\Delta z = 0,4 \text{ mm}$ од А до В и $\Delta z = 0,3 \text{ mm}$ од В до С.

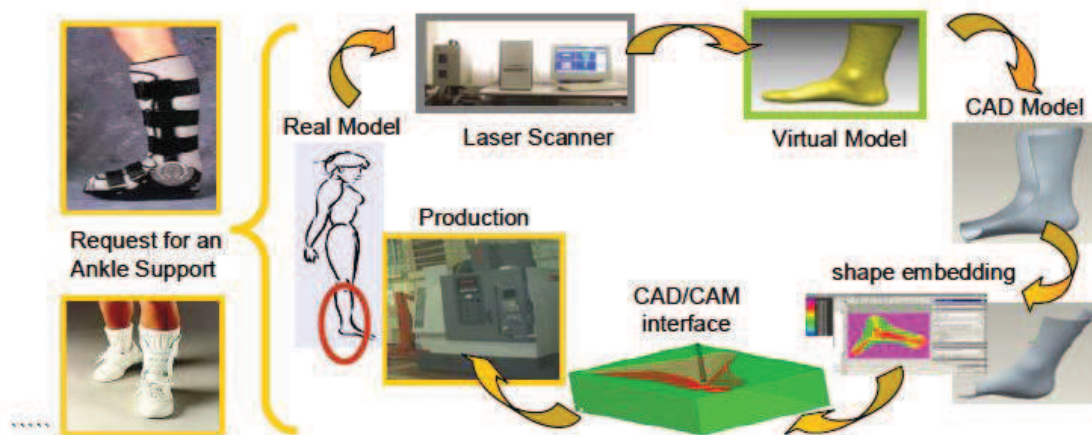
Детаљи о постављању процеса у Unigraphics-у су:

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				

- Максимални угао цртања: постављен на 65°, свуда.
- Алат за обликовање: пречник 25,4 mm, високо полиран.
- Брзина формирања (feedrate): 1125 mm/min.
- Додатна напомена: алат за обликовање се слободно ротира, и није у складу са напоном строја.
- Алуминијум AA 8008-0 дебљине 1,3 mm.

11.3 Медицинска примена SPIF-а

Медицинска индустрија може имати велику корист користећи SPIF-процес израде прототипова. Следи пример асиметричне примене поступног обликовања прилагођеног медицинског производа тзв. ножни носач за зглоб. Кораци који почињу од захтева за део до завршне производње приказани су на слици 52.



Слика 52: Израда носача за зглоб, од захтева, скенирања живог предмета, до постављања модела и CAD цртежа.

Апликација која је овде примењена представљена је Reverse Engineering-ом (RE-обрнута примена инжењеринга). Она дозвољава репродукцију модела високе прецизности насталих од сложених геометрија. Користећи RE, могуће је креирати реалистичне 3D моделе који представљају мноштво различитих објеката, укључујући делове људског тела.

У овој апликацији SPIF процес је коришћен за производњу дела који се користи као ослонац за зглоб.

Процес укључује следеће кораке:

- прво, тродимензионално скенирање људског зглоба помоћу ласера (безконтактни преглед) да би се добила морфолошка и димензионална информација о објекту;
- следеће, када су подаци доступни у дигиталном формату, 'cloud of points' („Облак тачака“) је изграђен из којег је могуће развити површине које индивидуализују облик зглоба;
- коначно, кроз примену CAD/CAM система, генерише се ISO део програма. Ово је предато машини за нумеричко управљање, која врши поступак инкременталног обликовања.

Ласерско скенирање се користи јер има велики број предности, као што су: ниски трошкови рада и боља аквизиција; мале димензије; резултати у реалном времену.

Апликација која је овде представљена изведена је за систем који функционише по принципима триангулације. Она дозвољава мерење малих предмета за скенирање у шест десетинки секунде. Систем дозвољава снимање објекта укључујући површинске карактеристике као што су боја и светлост.

Следећи корак је израда површине или уређивање софтвера. Користи се посматрањем током скенирања и тада је испитивани објекат посматран из више различитих

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



углова помоћу маркера који се користе на површини. Софтвер развија параметричне површине које се користе за добијање модела зглоба.

На крају овог корака решетка прави криве и добијен је облик. Даље се увози у CAD / CAM систем и развија се CAM корак. Пут алата је састављен и генерисан да изврши SPIF операцију на CNC глодалици. Подупирач зглоба је подељен на два дела који одвајањем чврстог модела ствара два одвојена дела програма. Положај модела у простору је одређен са циљем избегавања површинских нагиба који прелазе инкрементални облик ограничења у погледу максималног угла цртања, ϕ_{\max} . Пронађено је право позиционирање тј. део програма генерисан CNC троструком глодалицом који се користи за обликовање процеса. Програм убацује у меморију машине и део се формира постепено правећи два подударачућа пола напона за зглоб. Материјал листа је челик DDQ (Deep Drawing Quality) (дубоки цртеж квалитета), 1 mm дебљине.

Његова својства су приказана у табели 11.

Табела 11: Својста цртежа квалитета

Strength coefficient	Hardening exponent	Anisotropy	Tensile Strength	Elongation %
$K = 545$ MPa	$n = 0.27$	$r_v = 2.01$	$\sigma_R = 290$ MPa	$A\% = 50$

Алатна брзина довода и ротације су 1000 mm/min и 500 обртаја/min. Корак дубине Δz је 0,5 mm, док је алат пречника 11 mm. Време формирања модела је пола сата.

Тачност процеса је проверена понављањем претходног поступка, са делом који је формиран од стране инкременталног формирања. Ласерско скенирање дела даје нови облак тачака које се могу упоредити са оригиналним површинским делом програма. Добијени резултати показују максимално одступање грешка око 0,5 mm.

11.4 Бизнис примена методе

AISF-процес као релативно нов процес тренутно није у редовној форми за комерцијалну употребу али сви програмери имају предложене потенцијалне области примене. У неким случајевима направили су производе за тестове да би показали изводљивост.

Табела 12 приказује распон апликација где имају употребу и који обухватају мале и велике производе и производе са мање или више сложености.

Табела 12: Области апликације за AISF

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Application areas:
Automotive body panels (prototype, low-volume eg motorsport, and after-sales)
Other automotive sheet metal parts – structural, or non-aesthetic
Architectural – bespoke formwork, decorative panels
Customized white goods
Reflectors and casings for lighting
Dental – bespoke dental crowns
Housings and fairings for aerospace
Ship hull plates

Најзначајнија корист од AISF-а остварује се у ниским количинама производње тамо где постоје постојећи процеси нарочито за алате. Цена и време испоруке алата за производњу доводи до врло високих трошкова компонената. Такође сви програмери AISF-а су уочили привлачност AISF-а за прототипове и ниску количину производње. Да би се обезбедиле прецизније смернице за идентификацију пријава, развијена су два економска модела истраживања а то су: трговина између фиксних трошкова (посебно оних повезаних са алатом) и модел директних трошкова.

Hirt и Ames сматрају за модел директних трошкова: материјал, радну снагу и машинску стопу са алатом као фиксним трошковима.

Micari користи више детаља, укључујући директне трошкове материјала, радну снагу и трошкове постављања серије а такође и фиксне трошкове који укључују алате, NC програмирање и подешавања машине. Они сматрају да ће AISF вероватно бити атрактиван за производњу тамо где је нов алат. Оваква анализа даје средства за подршку одлукама о улагању у AISF.

Међутим постоје нека ограничења заснована на прорачунима корисности код овог облика модела трошкова а то су:

- тачне податке о трошковима потребним за примену је често недоступна, осим у веома великим предузећима. Чак и када постоје, мало је вероватно да одражавају стварне трошкове: трошкови рада могу бити већи или мањи него постављена стопа у зависности од капацитета и степена искоришћености у фабрици.

- вредност ISF процеса неће бити директна замена за постојећи процес. Постојећи дизајн производа и њихови избори за процесе су изабрани на основу расположиве производње технологија. Вредност нових технологија као што је ISF ће бити постигнут променама приликом дизајнирања производа да би одражавала предности и могућности процеса.

- трошак није једина одредница избора процеса. Ограничења толеранције, површинске обраде, дебљина лима и заостали напони су подједнако важни у одређивању избора процеса.

Ове забринутости су добро познате у општијој анализи улагања у напредну технологију производње.

У покушају да пружи ширу процену вредности AISF-а, Allwood, King и Duflou су предложили анализу AISF-а заснованог на сегментацији производа. Скупили су широк скуп

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



података из 15 компанија које се производе у Великој Британији. То су производи од лима где има укупно 28 производа. Подаци су се у великој мери односили на производ (или компоненту или апликацију), а не на постојеће процесе који су коришћени за његову израду и укључили су директне трошкове и времена испоруке, трошкове алата, дизајн производа и спецификације квалитета.

Скуп података је приказан цртежом на низу „сегментацијских карата“ који би такође могли бити од користи за приказ процеса способности AISF-а. Анализа графикана сугерише да је AISF примењив за производе велике вредности, и да се обим за који је AISF примењиван повећава са трошковима алата. Уопштено за величине серије где је AISF био исплатив показане су предности у односу на конвенционалну производњу.

Како технологија AISF напредује, и добија све шире интересовање дизајнери могу тражити предности његових јединствених карактеристика који ће генерисати нове апликације. Надаље избегавање било којих значајнијих трошкова алата у AISF-у и релативно ниских вредности опреме сугерише да би AISF био примењив за дистрибутивну производњу. Ово отвара даљи сет нових апликација где ланци снабдевања тренутно зависе од залиха и масовне дистрибуције (као што су поправке каросерије аутомобила и тржиште продаје) реорганизованих путем мреже јефтених AISF процеса са дистрибуцијом података, а не материјала.

Јасно је да се табела 12 односи на постојеће апликације а намена табеле 12 је да укључи апликације које се шире разматрају од скупа апликације које су заправо тестиране.

12. Закључак

Технологија инкременталног обликовања има велику могућност примене и велики потенцијал за развој. Како се пословање усмерава према купцу па са њим и дизајн производа надамо се да ће ова технологија имати већу примену у те сврхе.

Овом методом се такође могу израдити облици који нису могући великосеријским конвенцијалним методама па претпостављамо да ће у будућности перформансе делова добијених овом методом и њихово искоришћење физичких закона, као што је механика мноштва флуида, преовладати над економским законима и добити чешћу примену у индустрији.

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				



Литература

- [1] Група аутора, Asymmetric Single Point Incremental Forming of Sheet Metal, Grupa univerziteta
- [2] Genteno G., Silva M.B., Cristino V.A.M., Vallellano C., Martins P.A.F.,: Hole-flanging by incremental sheet forming, ELSEVIER, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 59, 46-54, 2012
- [3] Ben Hmida R.,Thibaud S., Gilbin A., Richard F.,: Influence of the initial grain size in single point incremental forming process for thin sheets metal and microparts: Experimental investigations, ELSEVIER, Materials and design, 45, 155-165, 2013
- [4] Palumbo G.,Brandizzi M.,: Experimental investigations on the single point incremental forming of a titanium alloy component combining static heating with high tool rotation speed, ELSEVIER, Materials and design, 40, 43-51, 2012
- [5] Duflou R. J., D'hondt J.,: Applying TRIZ for systematic manufacturing process innovation: the single point incremental forming case, ELSEVIER, 9, 528-537, 2011
- [6] Cadden T., Trtnik A., Incremental sheet forming enables prototyping of sheet metal products, <https://unlimited.hamk.fi/teknologia-ja-liikenne/incremental-sheet-forming/>,februar 2020
- [7] Живановић С., Живановић, Изводи са предавања на предмету “Машине алатке и работи нове генерације”, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2018

Рег. број	Презиме и име:	Смена:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	Група 3				