

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Владимир М. Томић

**Истискивање челика у хладном стању са
примерима из праксе**

завршни рад

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије - ТПО

Број индекса: 43/2012

Владимир М. Томић

**Истискивање челика у хладном стању са
примерима из праксе
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

**1. др Србислав Александровић, ред. проф -
ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изложи прегледно разматрање о технологији истискивања челика у хладном стању: основне дефиниције, класификација поступака, материјали комада и алата, проблем контактеног трења, анализа процеса, напони и деформације, гранични параметри, деформациона сила и рад. У практичном делу рада треба приказати анализу процеса обликовања за конкретне радне комаде и три конкретна најзаступљенија поступка: истосмерно истискивање пуних комада, истосмерно истискивање шупљих комада и супротносмерно истискивање шупљих комада (дефинисати геометрију и прорачунати параметре процеса). На крају дати закључна разматрања о теми, и посебно о анализи конкретних примера.

Препоручена литература:

1. Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
2. Metal Forming Handbook, Schuler, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, 1998.
3. Девеџић Б.: Обрада метала деформисањем - трећи део, Научна књига Београд, 1984.
4. Александровић С.: Технологија пластичног обликовања метала, скрипта, Факултет инжењерских наука, 2011.

Крагујевац, датум

ментор:

Др Србислав Александровић, ред. проф.

САДРЖАЈ

1. САДРЖАЈ	I
2. РЕЗИМЕ	II
3. УВОД	1
4. ОБРАДИВОСТ МАТЕРИЈАЛА ИСТИСКИВАЊЕМ.....	5
4.1 Проблем контактнoг трења.....	6
4.2. Утицај геометрије.....	8
4.3. Утицај карактеристика материјала комада и алата.....	9
5. МАТЕРИЈАЛИ ЗА ИСТИСКИВАЊЕ.....	10
6. ДЕФОРМАЦИЈЕ ПРИ ИСТИСКИВАЊУ.....	11
7. КОНСТРУСИЊЕ ДЕЛОВА И ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРОЦЕСА.....	13
7.1. Упутства за конструисање делова.....	13
7.2. Упутства за пројектовање процеса.....	16
8. ДЕФОРМАЦИОНА СИЛА И РАД ИСТИСКИВАЊА.....	17
8.1.Напони и напонска стања.....	17
8.2.Одређивање силе истискивања – основна разматрања.....	18
8.3.Метода танких пресека, SIEBEL –ов поступак.....	22
8.3.1. Истосмерно истискивање пуних тела.....	22
8.3.2. Истосмерно истискивање шупљих тела.....	26
8.3.3. Супротносмерно истискивање шупљих тела.....	27

9. ПРАКТИЧНИ ПРИМЕРИ ОДРЕЂИВАЊА ДЕФОРМАЦИОНЕ СИЛЕ ИСТИСКИВАЊА.....	29
9.1. Сила при истосмерном истискивању пуног тела.....	30
9.2. Сила при истосмерном истискивању шупљег тела.....	33
9.3. Сила при супротносмерном истискивању шупљег тела.....	35
9.4. Примери номограма за одређивање силе истискивања.....	39
10. ЗАКЉУЧАК.....	45
11. ЛИТЕРАТУРА.....	46

2. РЕЗИМЕ

У завршном раду је описан процес истискивања челика у хладном стању, основне шеме обраде истискивања и технолошке методе обликовања. Такође, дати су елементи технологије који укључују механичка својства материјала, избор технолошке шеме обликовања, избор машина и алата за истискивање челика. Дат је осврт на теоријске основе истискивања челика у хладном стању као и примери из праксе.

2. SUMMARY

This work describes the process of extrusion of steel in a cold material condition, the basic scheme and the technological processing of extrusion-forming methods. Also, given are the technology elements that include mechanical properties of workpiece materials, the choice of technological scheme design, selection of machines and tools for the extrusion of steel. It also discusses the extrusion process theoretical basis as well as examples from practice.

3. УВОД

Истискивање је вид запреминског пластичног обликовања. Основу оваквог развоја и перспективе ове врсте обраде чини низ преимућстава у односу на друге обрадне поступке. Ту су првенствено: добијање делова са побољшаним механичким својствима (захваљујући хладном деформационом ојачавању чиме је омогућено смањење тежине за 25-50%), постизање велике тачности облика и димензија, као и високог квалитета површине (без накнадне обраде резањем), велика продуктивност, велики степен искоришћења материјала (смањење утrophка материјала је обично 30-70%) и ниска цена по јединици производа. Овоме треба дати и могућност обликовања делова врло сложеног геометријског облика. Јасно је, међутим, да се још широј примени обраде хладним масивним обликовањем супротстављају нека озбиљна ограничења. Најзначајнија међу њима су: релативно мала деформабилност метала у хладном стању, велики деформациони отпори и ограничена механичка отпорност алата. Ипак, могућности даљих побољшања у смислу ублажавања ових ограничења нису исцрпене, па се у будућности може очекивати даље проширење примене поступка хладног обликовања.

Најширу примену ова врста примене налази у великосеријској и масовној производњи, мада се у последње време све чешће среће и у малосеријској. Даљи њен развој креће се углавном у смеру:

- Проширења области примене путем све веће замене поступка ливења и топлог ковања;
- Смањења тежине обрађених делова;
- Смањења утrophка материјала путем остварења технологичних облика, повећања тачности, усавршавања операција одсецања и др. ;
- Проширења примене у малосеријској производњи путем примене једноставних и универзалних алата;
- Изналажења квалитетних алатних материјала;
- Постизања веће димензијско-геометријске тачности;
- Усавршавања метода и сретства подмазивања;
- Побољшања деформабилности материјала;
- Повећања продуктивности рада путем механизације и аутоматизације процеса;
- Продужења века алата.

При коме се материјал (припремак) у алату излаже од стране притискивача (истискивања) јаком притиску у правцу кретања машине (пресе) и тиме присиљава да истиче кроз отвор матрице, или да испуњава међупростор између истискивача и матрице. Полазни (уложни) материјал, односно примерак, може бити у виду пуног или пробијеног (тј. са отвором) одсечка шипки, жице, цеви или плоче од лима, као и у виду шупљег тела претходно обликовамог такође истискивањем, ковањем или дубоким извлачењем. Облици примерака за истискивање шупљих тела условљени су и тиме да ли су ова тела са дном или без њега.

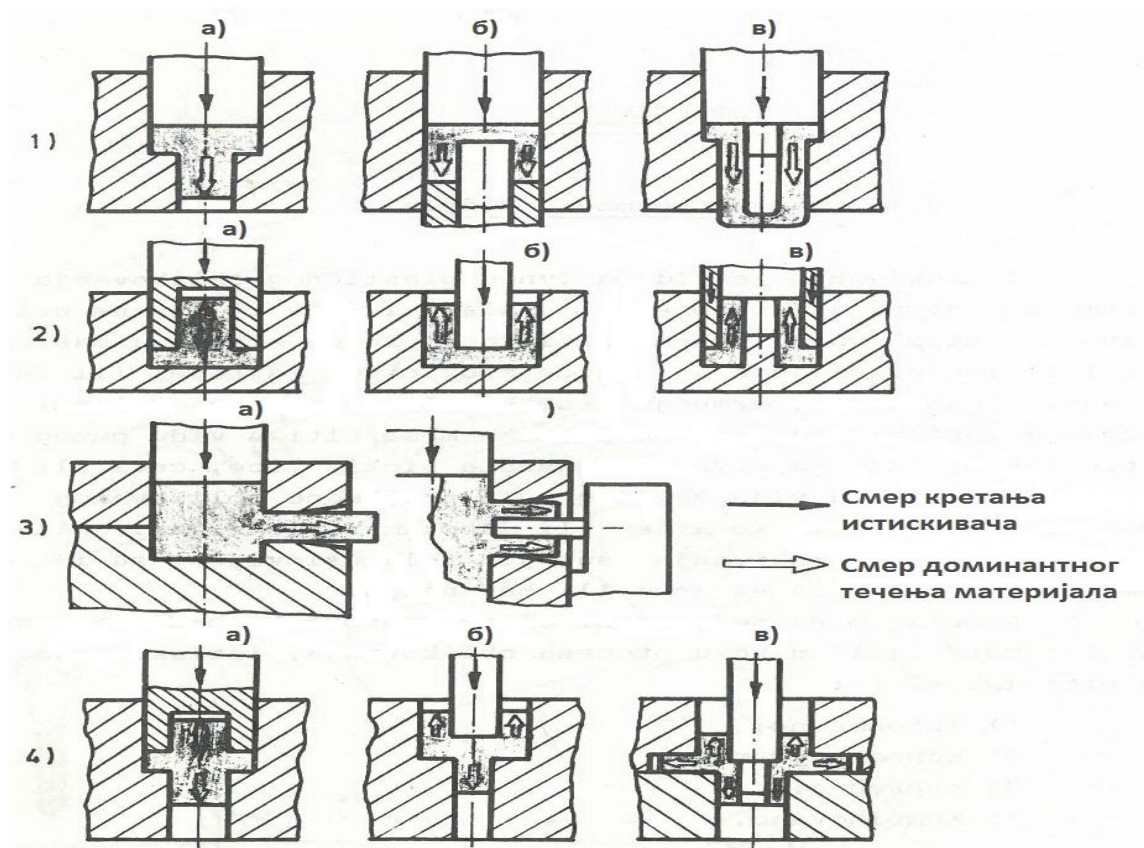
С обзиром на међусобни однос смерова кретања машине (алата) и материјала у току процеса обликовања, истискивање може бити (сл. 3.1):

- 1) Истосмерно
- 2) Супротносмерно
- 3) Попречно
- 4) Комбиновано

Даље, с обзиром на геометријски облик тела које се добија истискивањем, може се разликовати (сл. 3.1.):

а) истискивање пуних тела

б) истискивање шупљих тела



Сл. 3.1. Шеме различитих типичних врста истискивања

У оба случаја треба даље разликовати:

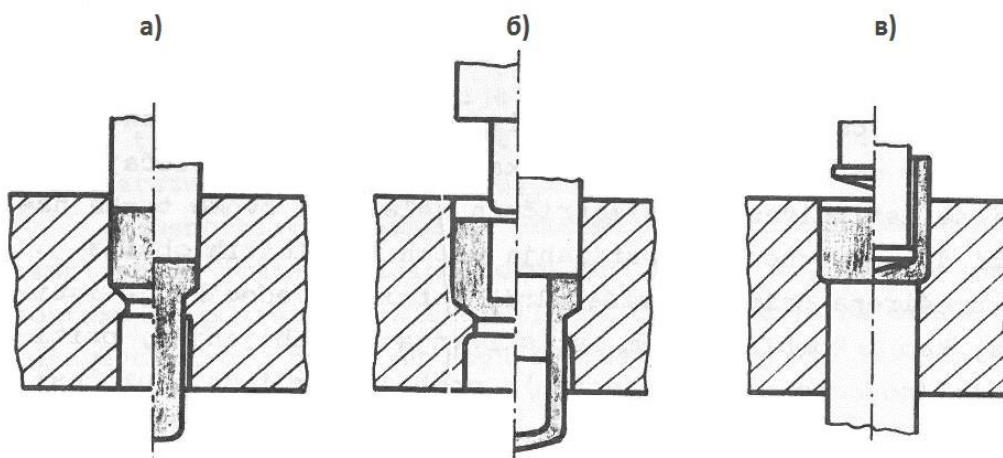
-истискивање ради добијање појединачних готових радних комада (нем. Fließpressen, engl. Extrusion, rus. Выдавливание,);

-истискивање ради добијања шипкастог или сличног профилисаног материјала (тзв. истискивање профила) великих дужина (полуфабриката у виду шипки, цеви, различитих пуних или шупљих профила и сл.) – најчешће у оквиру металуршког процеса његове производње (нем. Strangpressen).

У даљем ће бити речи искључиво о првом виду обраде, с обзиром да се металуршки процеси неће разматрати. Из истих разлога неће се залазити у поступке добијања сличног шипкастог материјала вучењем.

Без обзира на наведене и евентуалне друге могуће поделе истискивања, уобичајено је да се при основним општим разматрањима проблематике израде делова на овај начин врши извесно сужавање тих подела и њихово свођење на три најтипичнија (најосновнија) случаја (Сл. 3.2.)

- 1) Истосмерно истискивање пуних тела
- 2) Истосмерно истискивање шупљих тела
- 3) Супротносмерно истискивање шупљих тела.



Сл. 3.2. Шеме најтипичнијих случајева истискивања:

- а) Истосмерно истискивање пуних тела;
- б) шупљих тела;
- в) супротносмерно истискивање шупљих тела

Обрада истискивањем врши се најчешће у хладном стању, па ће у даљем, претежно, о њој бити речи. За разлику од тога, поменути металуршки процеси добијања дугачког профилисаног материјала одвијају се углавном у топлом стању (на температурама изнад температуре почетка рекристализације).

Међутим, у новије време постепено све више улази у примену и тзв. полутопло истискивање. Њиме се на изванредан начин комбинују неке предности и хладног и топлог истискивања, о чему ће бити речи.

У сваком случају, истискивање у хладном стању је доминантан вид ове обраде.

Предности хладног истискивања у односу на друге поступке обраде пре свега резањем (стругање, глодање, бушење и др.) су, првенствено следеће:

- већа уштеда материјала-чак за око 50% и више (уштеда се постиже и у поређењу са дубоким извлачењем истих тела, с обзиром да се истискивање врши из припремка у виду одсечка из шипке, а извлачење из плоча лима просечних из табле или траке).
- могућност да се сложени облици оформе за кратко време
- велика тачност димензија и облика, уз висок квалитет површина (он се постиже захваљујући, првенствено чињеници да нема оксидне коре и да при обликовању нема слободних површина у зони деформисања)
- побољшање механичких својстава делова услед деформационог ојачавања и повољног тока влакана, као и њиховог непресецања.

Најчешће се истискивањем израђују тела ротационог или неког другог осно-симетричног тела. Само у ретким случајевима врши се истискивање несиметричних тела.

При овоме треба напоменути да је могућност постизања веома различитих облика знатно проширена применом вишеделних матрица, већег броја истискивача, као и комбиновањем истискивања са сабијањем, притискивањем (ротационим извлачењем), пробијањем и др., уз често коришћење савремених аутомата, као високопродуктивних машина за ову врсту обраде.

Овоме свакако треба додати и могућност комбиновања истискивања са поступцима обраде резањем. Обично се истискивањем израђују делови чије су масе у опсегу 2(1)g - 35kg, јер би веће масе захтевале компликованије и прејакe машине, веома отежале руковање и уопште експлоатацију и сл.

За хладно истискивање нису погодни високо-легирани челици и уопште материјали који имају велики деформациони отпор. Да би се избегли недозвољено велики притисци, често се мора вршити рашчлањавање процеса на више операција са мањим појединачним степенима деформисања.

Свакако да при томе постоји и могућност да се евентуално изврши међуоперацијско рекристализационо жарење и тиме значајно смањити деформациони отпор пре извођења наредне операције (тј. отклоне последице претходног деформационог ојачавања).

У закључку овог сажетог уводног излагања може се констатовати да у основне техничке чиниоце кији утичу на процес истискивања спадају:

- својства материјала
- степен деформације (тзв. редукација попречног пресека)
- радни притисци
- геометријско-димензијске карактеристике уложног материјала (полазног комада, припремка)
- контактни услови (трење, храпавост, подмазивање)
- температура

4. ОБРАДИВОСТ МАТЕРИЈАЛА ИСТИСКИВАЊЕМ

Код свих наведених поступака истискивања највећи утицај на пластично течење материјала имају: геометријски односи, контактнo трење и својства материјала, док су брзина деформисања и температура обично мањег значаја.

Основни чинилац који предодређује обрађивање хладним истискивањем јесте величина нормалних напона који се јављају на контактним површинама алата. Алатни челици који се употребљавају за ову сврху не могу издржати радне притиске преко 2500-3000 МПа (N/mm^2).

Поред ових притисака на контактним површинама, треба рачунати и са одговарајућим великим уздужним напонима у истискивачу, као и радијалним и тангенцијалним напонима у матрици. То доводи до потребе да се матрица често ојачава (армира) додатним прстеном (или са два прстена) који се на њу навлачи тако да се још пре обраде оствари преднапрезање (усмерено супротно од радног напрезања) и тиме омогућити да она може издржати велике радне напоне у току истискивања.

Да би се превелика оптерећења смањила, односно олакшало пластично течење материјала, на располагању стоје, углавном, следеће могућности:

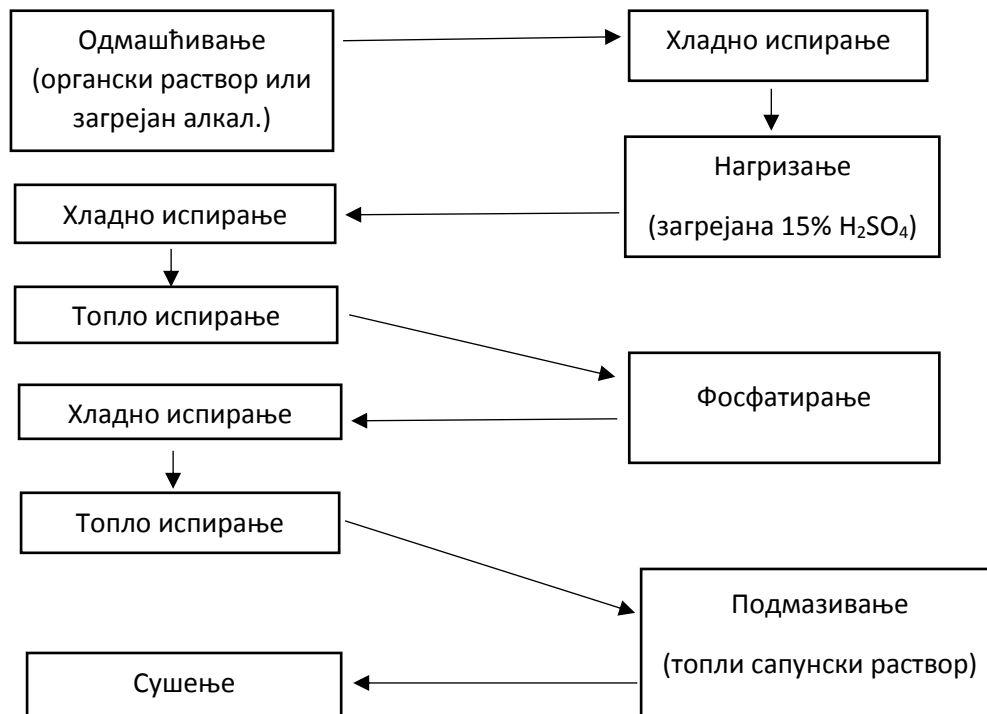
- а) смањење контактнoг трења путем подмазивања;
- б) евентуално погодније обликовање истискивача и матрице (свакако, уколико се такво обликовање може допустити са функционално-конструкцијског становишта);
- в) побољшане деформабилности материјала погодном термичком обрадом, загревањем или евентуалном заменом материјалом који је деформабилнији, има својство мањег деформационог ојачавања и сл.

С обзиром да се задње две опште могућности не могу увек искористити због постојећег ограничења у појединим случајевима, проблем подмазивања контактних површина добија посебан, а може се рећи и одлучујући значај. Оно са једне стране, смањује трење, а са друге, спречавајући непосредан контакт између алата и материјала, онемогућава евентуално хладно сваривање, слепљивање и велико хабање алата.

4.1. Проблем контактнoг трења

У предњем смислу, при хладном истискивању челика, односно при настајању екстремно великих нормалних напона, више не могу задовољити сама мазива као што су минерална уља и масти. Зато се челични материјал претходно превлачи једном чврстом танком електрохемијском превлаком која треба да носи средство за подмазивање. У том циљу користи се још од 1934. године специјални фосфатни слој (чиме је и почела успешна обрада челика истискивањем, а касније је овај фосфатни слој почео да се примењује и при неким другим поступцима). Најчешће се користи цинк-фосфат, који поседује одређену порозност, тако да може успешно примити и задржати уља, масти или нека друга мазива. Осим тога, овај слој може поднети без разарања релативно велике промене површине радног комада у току деформисања. Дебљина слоја је обично 5-15 μm (у најширем смислу може се кретати и у опсегу 1-30 μm) и он се формира потапањем материјала у специјална купатила (оријентационо, процес траје око 15 мин). На овај начин, дакле, настаје погодна превлака која јако повећава апсорпциону способност површине, задржавајући мазиво у микропорама и при врло високим притисцима. Као мазива користи се медисулфид, као и мазива на бази графита.

Технологија наношења фосфатне превлаке и мазива обухвата и неке друге операције као што су: одмашћивање, нагризање (хемијско чишћење површине од евентуалног оксидног слоја и сл.), прање, или др. На сл. 4.1. приказана је општа технолошка шема процеса фосфатирања са пропратним операцијама.



Сл. 4.1. Операције у оквиру процеса наношења фосфатне превлаке на челик пре истискивања

За високолегиране челике са феритном, аустенитном, или мартензитном структуром (легиране са Cr, Ni, Mo, W,...) користи се уместо фосфатног, оксалтних слоја (ферооксалат) дебљине око 1 μm . Осим тога, у неким специјалним случајевима за ове челике примењују се такође и специјалне металне превлаке које имају малу склоност ка слепљивању за челике.

Има такође посебних случајева када се истискивање може остварити и без носећег слоја, односно директним подмазивањем, на пример, молибден-дисулфидом (MoS_2). Вредности коефицијента контактне трења које се остварују уопште при хладном масивном обликовању крећу се у доста ширококим границама од око 0,03-0,15. Оријентационо се може узети да је за фосфатирану површину премазану металним сапуном $\mu \approx 0,1$ а ако је као мазиво примењен молибден-дисулфидом, онда ова вредност може спасти на око $\mu \approx 0,05$. За смањење трења на чеоним поршинама материјала као и добијање квалитетних површина делова и њихових тачних димензија, такође је значајно да раздвојене површине, по којима је извршено одсецање припремног комада из шипке сировог материјала, буду квалитетне и управне на подужну осу.

Поступак фосфатирања поред веома повољних особина у погледу подмазивања, у еколошком смислу је веома штетан због своје токсичности. Због тога се последњих година улажу значајни напори у развоју нових еколошки прихватљивих средстава за подмазивање у поступцима хладне масивне обраде, као што је истискивање.

Овде ће се поменути три савремена еколошка мазива, односно средства са погодним антифрикционим својствима. Прво је тзв. dual-bath превлака која се добија двоструким потапањем радних комада у одговарајући водени раствор, а затим сушењем. На тај начин се формирају два слоја. Први који обезбеђује добро приањање за металну површину и други који има антифрикциона својства. Други слој може бити изведен на бази воска и металних сапуна или на бази молибден дисулфида и графита.

Друго је тзв. single-bath превлака која се добија веома једноставним поступком једноструког потапања радних комада у одговарајући водени раствор, а затим сушењем. Добија се један слој повољних антифрикционих особина.

Треће средство са врло повољним еколошким и антифрикционим особинама је борна киселина. Њен недостатак је хигроскопност што знатно отежава примену.

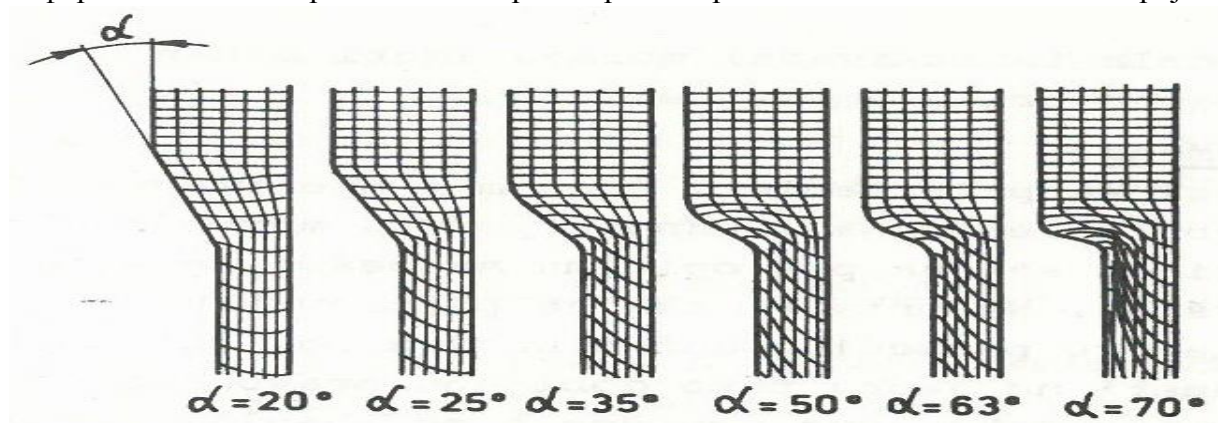
4.2. Утицај геометрије комада

Што се тиче утицаја на процес истискивања преко геометријског облика алата, може се рећи да у том смислу постоје бројне могућности, које могу сврстати у следеће две групе:

- а) погодно обликовање чеоне стране истискивача, односно отвора матрице;
- б) евентуално прилагођавање облика дела специфичним технолошким захтевима истискивања (нпр, његовог попречног пресека).

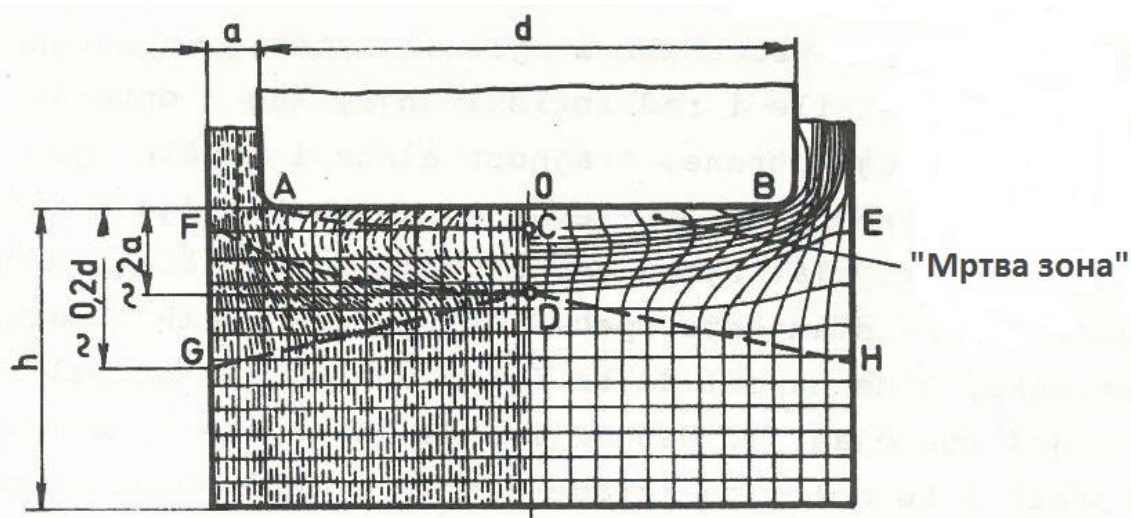
У оба случаја, дакле, оваква конструкциона решења имају карактер побољшања технологичности, а често једно од њих условљава друго (нпр, прилагођавање облика дна делова при супротносмерном истискивању шупљих тела). Илустрација ових могућности дата је у каснијим поглављима. На овом месту се наводи само пар шематских приказа основних модела течења материјала.

На сл. 4.2. је дат приказ утицаја величине угла конуса матрице при истосмерном истискивању шупљих тела, при чему су основне разлике истакнуте преко разнолике деформисаности координатне мерне мреже претходно нанешене на материјал.



Сл. 4.2. Утицај величине угла конуса отвора матрице (2α) на течење материјала при истосмерном истискивању шупљих тела

На сл. 4.3. такође је шематски приказано течење материјала при супротносмерном истискивању, уз назнаку карактеристичних зона. Непосредно испред чела истискивача налази се тзв. „мртва зона“ А-О-В-С у којој практично нема померања материјала. Растојање О-С зависи од својства материјала, облика истискивача и дебљине зида. Материјал испод назначеног конуса G-D-H не учествује у течењу све док тај конус не допре до дна матрице. Запремина која је подвргнута најинтензивнијем течењу је она која се налази непосредно испод „мртве зоне“ и простире се до границе F-D-E. На приказаној шеми су назначене оријентационе вредности димензије појединих зона па је већ из тога јасно да геометријски односи (пречник, дебљина зида, дебљина дна и облик чела истискивача) морају имати битан утицај на процес деформисања при овом истискивању.



Сл. 4.3. Шематски приказ типичних зона с обзиром на течења материјала при супротносмерном истискивању шупљих тела

У вези са приказаним и другим експерименталним изналажењем потребних величина и односа помоћу мерне мреже, корисно је напоменути да се она при опитима најчешће не наноси на спољашњу површину. На пример, ако је припремак у виду ваљка, он се може најпре пресећи уздужно на два подједнака дела и затим мрежа нанети на једну тако добијену правоугаону површину меридијанског пресека (ово наношење се обавља специјалним фотографским, електролитичким, или неким другим поступком). После тога врши се поновно приљубљивање две раздвојене половине и њихова завршна спољна обрада на стругу (на дефинитивну меру), а онда истискивањем. На крају обе половине се поново раздвоје и тако деформисана мрежа учини видљивом, па се могу идентификовати разлике у течењу материјала у појединим зонама, локалне деформације и њихов распоред и др.

4.3. Утицај карактеристика материјала комада и алата

Као што је напред већ истакнуто, на деформациони отпор материјала и његову деформабилност може се утицати и погодном термичком обрадом. Код челика се, првенствено, врши меко жарење при чему се ламеле цемента у перлиту преводе у кугличасти облик. Осим тога, пожељно је да структура буде ситнозрна и равномерна. Изазваним променама својстава материјала уједно се смањују и потребне силе и рад истискивања, као и оптерећење алата. Са друге стране трајност алата и уопште његова способност да поднесе радна оптерећења зависе такође и од квалитета алатног материјала.

Стога се, упоредо са коришћењем поменутих могућности за смањење специфичних површинских (контактних) притисака, чине напори да се изнађу нови алатни челици који ће бити још постојанији. Несумњиво је да се у овај комплекс може сврстати и технологија израде алата с обзиром да и она може утицати на њихову постојаност (што у осталом, не важи само за алате ове врсте). Као резултат свих ових околности произилази, поред осталог и чињеница да се нпр. истискивањем још увек најуспешније обрађују обојени метали и њихове легуре, нешто мање успешно нискоугљенични челици, а остали челици уз знатне тешкоће. Стога се степен развијености ове области често оцењује уделом појединих врста материјала који се могу успешно обрађивати истискивањем-од лаких метала до легираних челика.

5. Материјали за истискивање

Пожељно је да материјали за обраду истискивањем имају што мањи деформациони отпор и својство што мањег деформационог ојачавања (тима се могућности обраде проширују, с обзиром на максимално допуштена оптерећења алата). Уопште се може рећи да се за хладно обликовање (укључујући и хладна истискивања) у највећем броју случајева употребљавају нелегирани челици за цементацију и побољшање као и ниско-легирани челици са садржајем угљеника испод 0,5% ; Mn < 2%, Cr < 2% , итд. и повећаном чистоћом (садржај P, S и N је сведен на најмању меру, с обзиром да ови елементи смањују пластичност). Посебну групу чине челици за хладно деформисање намењени термичкој обради са садржајем угљеника 0,06-0,18% (ту спадају челици за закивке, завртњеве и сл.). Од обојених метала најчешће се обрађују алуминујум и бакар, односно њихове легуре за обраду деформисањем (тзв. легуре за гњечење) а такође и Pb, Zn, Sn и др. Овде ће се илустративно навести само неке типичне врсте челика који долазе у обзир за обраду истискивањем:

а) Нискоугљенични челици за хладну обраду који нису намењени термичкој обради. То су заправо специјални конструкциони челици намењени хладној обради (нпр. челици за закивке) са негарантованим хемијским саставом, али гарантованом чистоћом, односно челици са врло малим садржајем угљеника. Č.0248; (C11G1C) ;...

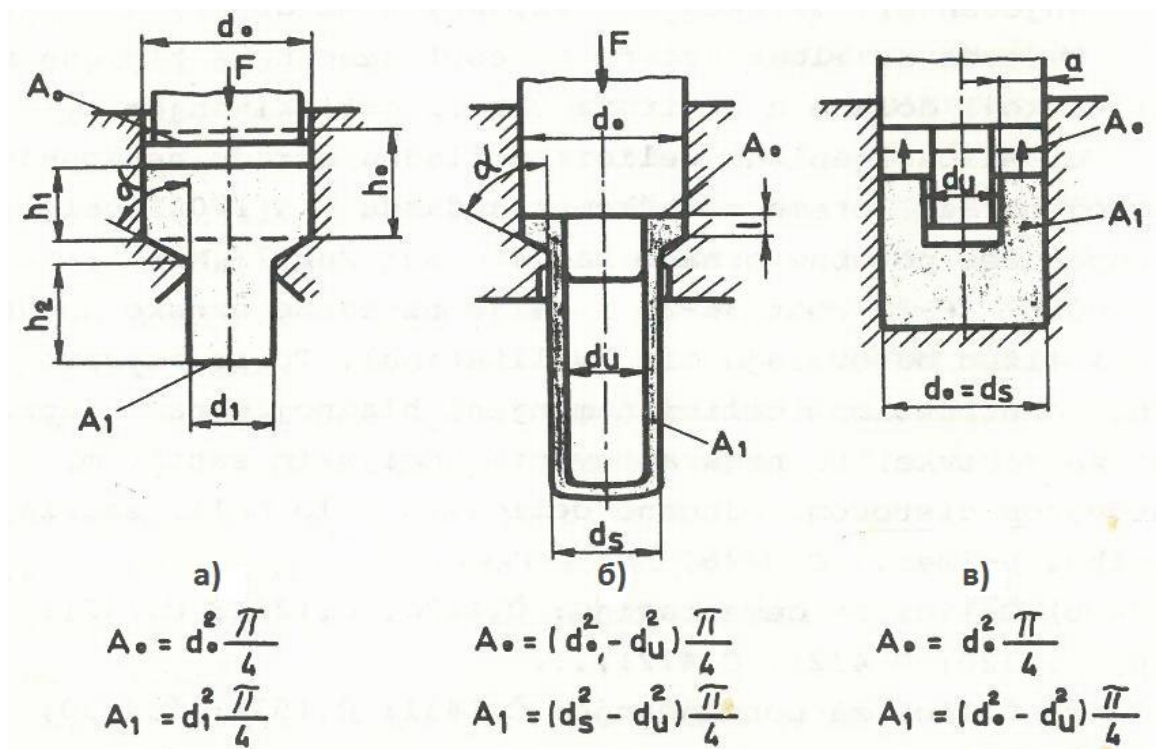
б) Челици за цементацију: Č.1121; (C10E) ; Č.1221; (2C15) ; Č.4320; (16MnCr5) ;...

в) Челици за побољшање: Č.1431; (C35E) ; Č.1531; (C45E) ; Č.4130; (34Cr4) ; Č.4131; (41Cr4) ; Č.4732; (42CrMo4) ;...

г) Нерђајући челици: Č.4170; (X6Cr13) ; Č.4580; (X5CrNi18-10) ; ...

6. ДЕФОРМАЦИЈЕ ПРИ ИСТИСКИВАЊУ

У литератури се могу срести различити показатељи степена укупне деформације тела при истискивању. Они се међусобно не разликују само с обзиром на врсту истискивања већ и по основној дефиницији. Треба имати у виду да се они заснивају на односима укупних карактеристичних димензија тела и да зато не могу пружити податак о величинама стварних деформација у појединим ужим зонама његове запремине (тј. занемарује се нехомогеност деформационог поља). То значи да оне заправо представљају само условне осредњене техничке вредности степена деформације. Међутим, за практичне сврхе они и као такви могу послужити за релативно поуздано и једноставно оцењивање степена деформисаности при истискивању. Овде ће се навести неколико таквих показатеља који налазе најчешћу примену. На сл. 6.1. су показана значења карактеристичних усвојених ознака, на основу којих су поједини показатељи деформације дефинисани.



Сл. 6.1. Шематски приказ усвојених ознака које се односе на димензије карактеристичних пресека три најтипичнија случаја истискивања

1. Логаритамска деформација

$$\varphi = \varphi_A = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

A_0 – почетни попречни пресек

A_1 – крајњи попречни пресек истиснутог тела

Оправданост и смисао оваког израза за φ најједноставније се може приказати на случају сабијања цилиндра. Ту је главна деформација по висини $\varphi_h = \ln(h_0/h_1)$ и једнака је збиру остале две главне деформације у попречном правцу:

$$|\varphi_h| = |2 \ln \frac{d_0}{d_1}| = |\ln (\frac{d_0}{d_1})^2| = |\ln \frac{A_0}{A_1}|$$

Предњи израз за φ има општи карактер, тј. не зависи од врсте истискивања. Међутим, ако се за сваку од њих пресеци A_0 и A_1 изразе посебно, онда ће, у складу са ознакама на сл. 6.1. бити:

а) за истосмерно истискивање пуних тела

$$\varphi = 2 \ln \frac{d_0}{d_1}$$

б) за истосмерно истискивање шупљих тела

$$\varphi = \ln \frac{d_0^2 - d_u^2}{d_s^2 - d_u^2}$$

d_u – унутрашњи пречник, тј. пречник шупљине

d_s – спољашњи пречник истиснутог тела

в) за супротносмерно истискивање шупљих тела

$$\varphi = \ln \frac{d_s^2}{d_s^2 - d_u^2}$$

2. Релативна деформација (редукација попречног пресека)

$$\varepsilon (= \varepsilon_A) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = \frac{\Delta A}{A_0}$$

а) за истосмерно истискивање пуних тела

$$\varepsilon = 1 - (\frac{d_0}{d_1})^2$$

б) за истосмерно истискивање шупљих тела

$$\varepsilon = \frac{d_0^2 - d_s^2}{d_0^2 - d_u^2}$$

в) за супротносмерно истискивање шупљих тела

$$\varepsilon = \frac{d_u^2}{d_s^2}$$

3. Степен редукације пресека (степен, односно коефицијент, истискивања)

$$R = \frac{A_0}{A_1}$$

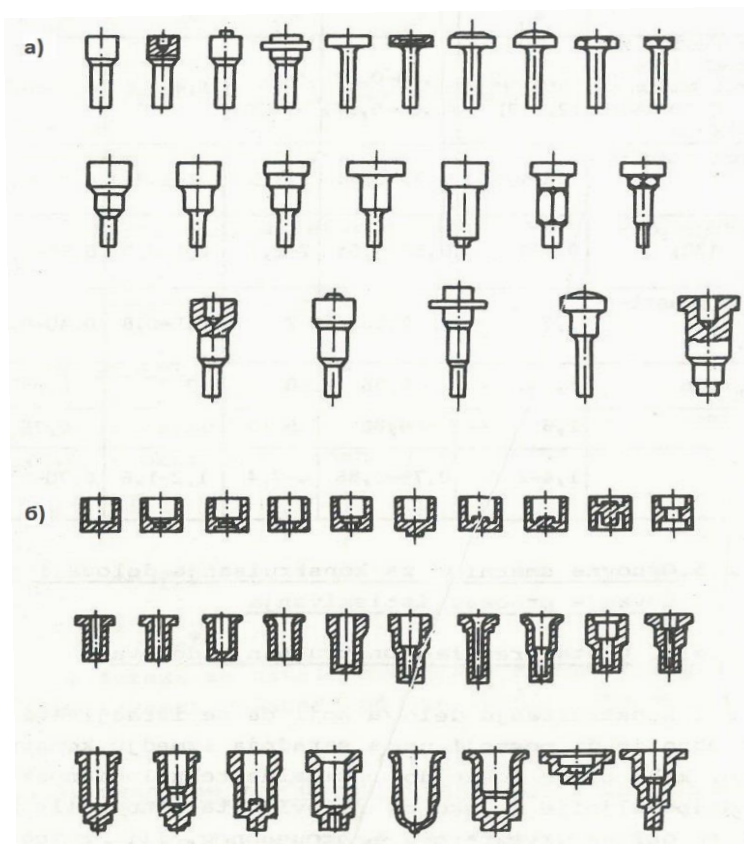
4. Процентуална деформација (редукација попречног пресека)

$$\delta = \frac{A_0 - A_1}{A_0} 100 = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%$$

7. КОНСТРУИСАЊЕ ДЕЛОВА И ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРОЦЕСА

7.1 Упутства за конструисање делова

При конструисању делова који ће се израђивати истискивањем потребно је да постоји уса сарадња између конструктора и технолога, како би се дошло до оптималне технологичности. Најповољније је ако су делови ротационог, или бар осносиметричног облика (квадратног, шестоугаоног, или другог пресека; на пример, озубљени делови). У противном, тешко је усмерити течење материјала, а и алати се неравномерније напрежу. Без обзира на то што је овај основни облик најчешће предодређен функционалним захтевима којима мора да удовољи део, конструктор ипак може у извесној мери утицати, да се он, бар донекле, прилагоди потребама обликовања истискивањем. На сл. 7.1. дати су примери неких најтипичнијих конструкционих облика оваквих делова, а на сл. 7.2. изгледи неколико већ израђених, односно готових, делова.



Сл. 7.1. Типични облици делова који се израђују истискивањем:

а) пуна;

б) шупља тела

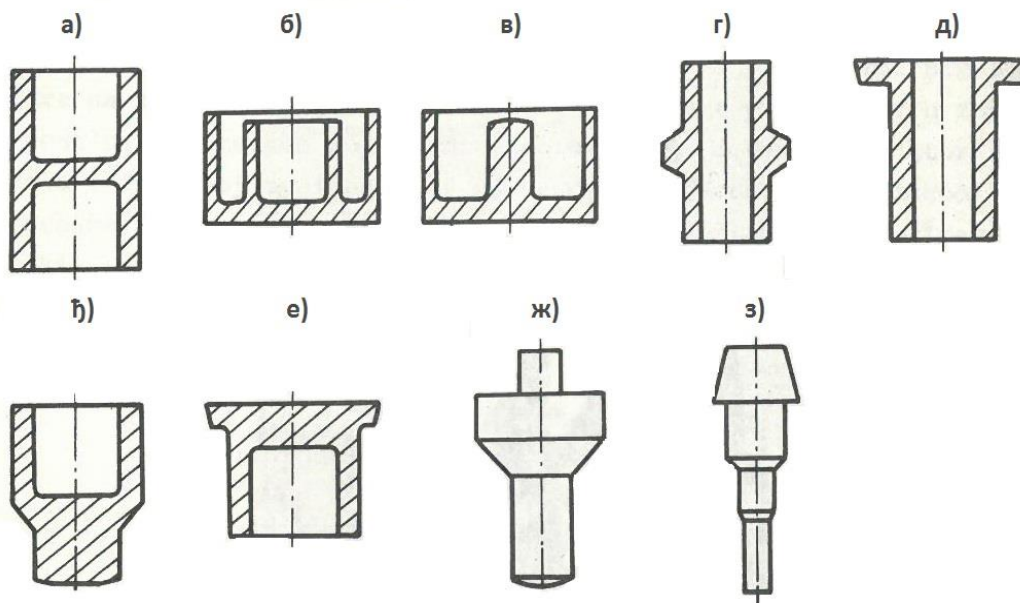


Сл. 7.2. Изгледи неких готових делова обликованих истискивањем

Даљи илустративни примери приказани су на сл. 7.3. и они се односе, на делове који се могу обликовати комбинованим истискивањем (у случајевима е), г) и и) у обликовање је укључено и сабијање венца, односно главе).

У алатима је потребно водити рачуна о извођењу истискивача и матрице - с обзиром на потребу да се олакша течење материјала, па је јасно да та технолошки условљена извођења могу непосредно предодредити и облик израђеног дела, односно условити да се тај облик предвиди још при конструисању (технологичност конструкције).

Најтањи зидови делова од челика обично су око 1 mm (а свакако изнад 0,5 mm), док полупречници заобљења на прелазима не би требало да буду мањи од 1 mm. Ако су делови од алуминијума, онда се могу изградити и знатно тањи зидови (ипак не испод 0,1 mm). Највеће дебљине зидова су око 15 mm (у зависности од облика и пречника). Највећи пречници нормално не прелазе 200 mm. Узимајући изложено у обзир, може се закључити да се при конструисању делова који се израђују истискивањем треба придржавати следећих општих правила:



Сл. 7.3. Примери разноврсних облика који се могу добити комбинованим истискивањем

-избегавати несиметричне облике

- по могућству избећи вишеструке, а посебно нагле, промене попречног пресека, а на местима где се они мењају обезбедити довољно благе прелазе;

- оштре спољашње и унутрашње ивице треба избећи, односно предвидети заобљења

- избећи спољашње и унутрашње засеке и сличне облике који отежавају течење материјала, или их израдити накнадном обрадом резањем,

- избећи дуге уздужне рупе, са малим пречником, као и бочне рупе (израдити их накнадним бушењем); за челик пречници рупа треба да су преко 10 mm, а дужине мање од 2,5 d;

-елементе у виду ребара и сл. који су постављени, на пример, са једне стране, избећи и додати их накнадно путем заваривања;

-по могућству, подесити облике површина, које ће у току истискивања бити контактне, тако да се што више олакша течење материјала (на пример, унутрашњу површину дна тела које се израђује супротносмерним истискивањем – в.)

- Навој се не може израђивати истискивањем.

7.2. Упутства за пројектовање процеса

Пројектовању технологије обраде истискивањем свакако мора претходити раније поменути анализа оправданости примене такве обраде у сваком конкретном случају. При томе треба узети у обзир, како технолошке, тако у економске чиниоце - с обзиром на цену фосфатирања и подмазивања, потребу добијања глатких раздвојних површина припремка, алата, итд.

Да ли ће се при пројектовању процеса израде неког одређеног дела предвидети истосмерно, супоротносмерно, или комбиновано истискивање, не мора зависити искључиво од његовог облика, већ такође у највећој мери од трошкова и њиховог односа према трошковима других врста обраде које би евентуално могле доћи у обзир. У том случају, за сваки посебан случај постоји критичан (најмањи) број произведених комада који ће оправдати примену поступка са економског становишта.

Искуство показује да се број делова, који може бити израђен у току економски прихватљивог века алата, креће у доста широким границама од око 3.000 до око 25.000 комада за челик и до око 100.000 комада за обојене метале. Поред ових критеријума, свакако треба узети у обзир и друге поменуте квантитативне показатеље карактеристичне за ову врсту обраде. На пример често се може радити са нелегираним јефтиним челиком уместо са легираним, јер ће он захваљујући интензивном деформационом ојачавању при истискивању, побољшати своја механичка својства до те мере, да каснија термичка обрада неће ни бити потребна. Тиме се, дакле, чини уштеда, како у цени материјала, тако и у избегавању термичке обраде.

Јасно је да пре одређивања потребних сила истискивања, односно дефинисања машина и прорачуна алата, морају бити познати и други битни елементи процеса обраде. Ту се, пре свега, мисли на одређивање врсте, броја и редоследа операција, укључујући и напред поменуту потребу избора технологичне контрукције дела и др.

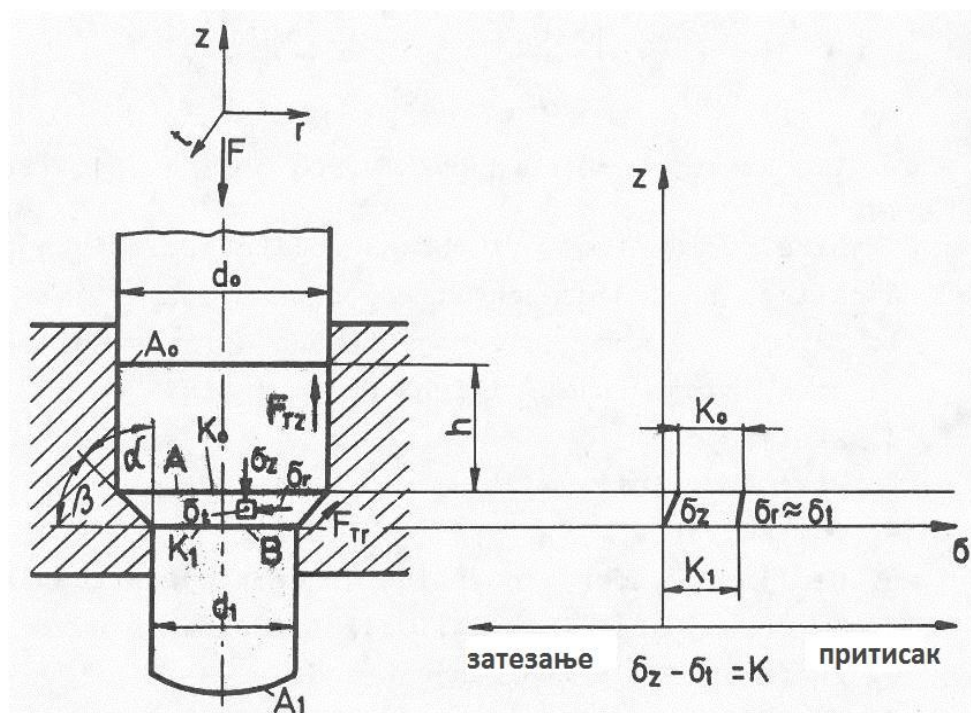
На почетку пројектовања технолошког процеса истискивања неког одређеног дела нормално се, располаже конструкционом цртежом његовог коначног облика, са свим припадајућим подацима, укључујући и материјал.

На основу димензија дела могу се, уважавајући чињеницу да се запремина материјала у току обраде не мења, изачунати димензије полазног облика (припремка). При томе се мора одабрати најпогоднији полазни пречник материјала d_0 имајући у виду да су пречници сировог материјала стандардизовани, као и обзиром на промене пречника које ће се остваривати у оквиру појединих операција (ако их има више). При димензионисању пречника треба такође имати у виду да је за несметано постављање припремка или међуоблика у алат (односно несметано залажење алата у унутрашњи отвор припремка-ако је такав случај у питању) неопходноан зазор од око 0.2 mm, а ако се предвиђа операција сабијања, онда је он бар 0,5 mm.

8. ДЕФОРМАЦИОНА СИЛА И РАД ИСТИСКИВАЊА

8.1. Напони и напонска стања

Погодно је да се при разматрању напонског стања у зони деформисања пође од опште квалитативне слике истог. Такву могућност нуди елементарна теорија и на основу ње се може стећи принципиални увид у основне односе. Јасно је, међутим, да се нај тај начин не могу добити подаци о износима појединих локалних напона, већ само о њиховим осредњим вредностима. На пример, при истосмерном истискивању пуних тела према сл. 8.1. зона пластичног деформисања почиње у пресеку А и протеже се до пресека В. У овом другом пресеку (у коме се завршава процес деформисања биће аксијални напон $\sigma_z = 0$ и он одатле расте, идући навише, све до пресека А (в. шематски дијаграмски приказ на десном делу слике).



Сл. 8.1. Напони у зони деформисања при истосмерном истискивању

Према елементарној теорији, морају деформације у радијалном и тангенцијалном правцу бити исте, па су зато и напони у тим правцима приближно једнаки ($\sigma_r \approx \sigma_t$). Зато је распоред напона у зони деформисања дат условом пластичности

$$\sigma_z - \sigma_r = K$$

(K – деформациони отпор)

Због појаве деформационог ојачавања токови промена σ_z и σ_r дуж зоне нису паралелни. Очигледно је да у овом случају у читавој тој зони деформисања постоји повољно напонско стање свестраног притиска. Слични закључци могли би се извести и за друге врсте истискивања.

8.2. Одређивање силе истискивања – основна разматрања

Уопште посматрано, напони, силе и радови при истискивању могу се одређивати на различите начине: аналитичким, експерименталним и емпиријским (односно полуемпиријским) поступцима. Сваки од њих може имати оправдање у одређеном случају. Другим речима, на располагању стоје бројне могућности за одређивање, првенствено, радног напона, при чему је од посебног интереса његова максимална вредност $p_{\max}$.

Све расположиве методе могле би се разврстати према следећем:

- а) метода деформационог рада (и степена корисности деформисања η_d);
- б) метода заснована на елементарној теорији пластичности (метода танких пресека);
- в) метода горње процене (заснована на минимуму снаге сила које се јављају у процесу деформисања);
- г) коришћење расположивих експерименталних података (дијаграма, номограма, ...) – то је заправо аналитичко – експериментална метода, која добија на значају;
- д) коришћење емпиријских (односно полуемпиријских) једначина.

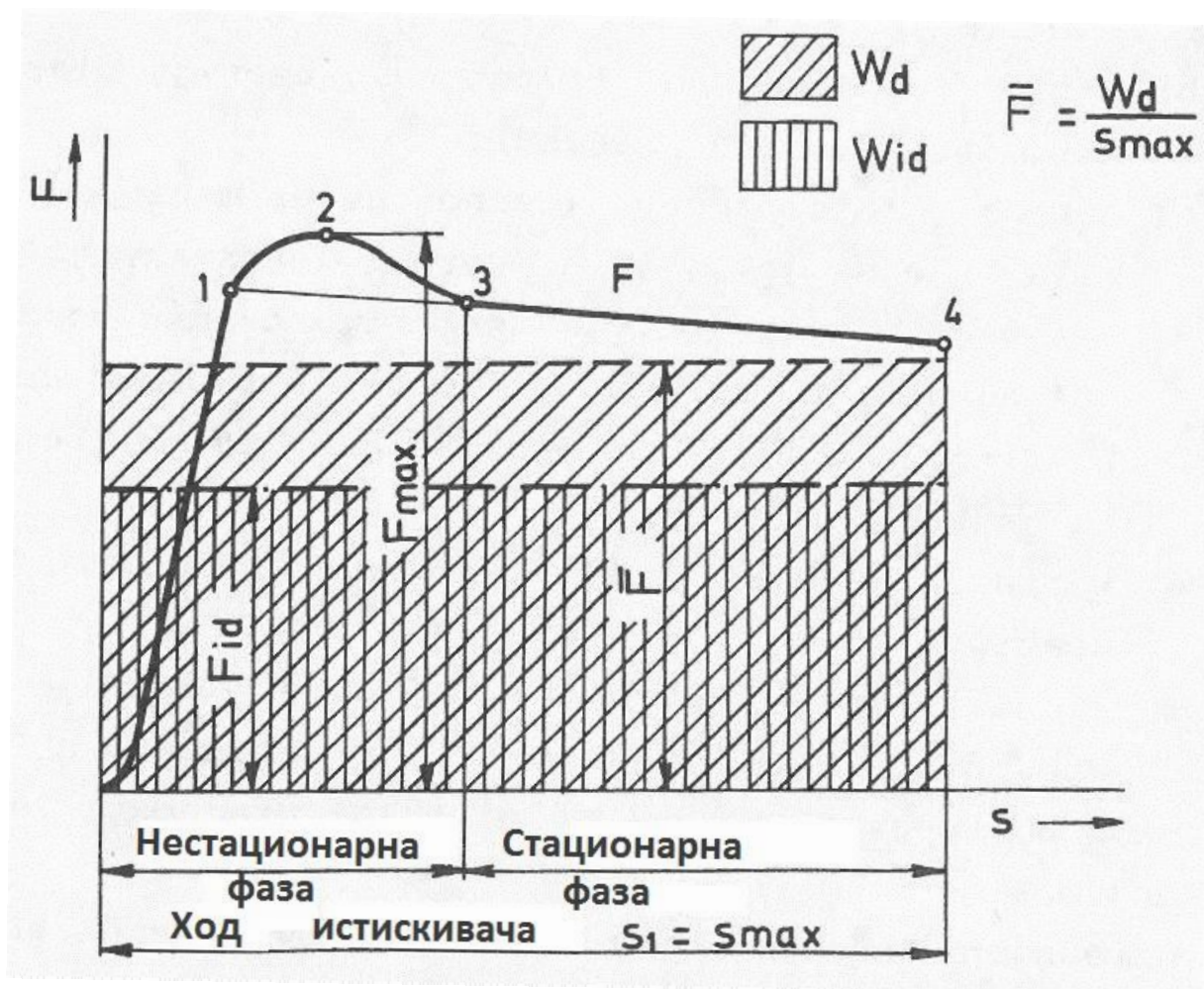
Напомена: према поступцима а), г) и д) добијају се само максималне вредности за напон p ($p_{\max}$), односно силу F ($F_{\max}$), док се према поступцима б) и в) могу добити вредности за p у току читавог процеса.

Осредњени напони израчунати на основу елементарне теорије пластичности могу се искористити за израчунавање укупне деформационе силе и рада. При томе треба имати у виду да познавање тачних износа напона на појединим местима запремине која се деформише најчешће и није од већег значаја са становишта обрадивости. С обзиром да је напонско стање троосно и притискујуће, односно да је гранична деформабилност материјала у таквим условима нормално изнад оних вредности максималних деформација (односно напона) које су предоређене (ограничене) отпорношћу алата.

Међутим, то истовремено значи и да су износи максималних напона на појединим местима контактне површине, ипак, значајни са становишта издржљивости алата, односно стварне обрадивости. Та околност указује на основни недостатак метода прорачуна заснованих на елементарној теорији.

Као и код других врста обраде, и при истискивању је значајно познавати величину и ток (промену) силе у току процеса, како би се на основу тога могао извршити исправан избор машине и прорачуна алата, као и израчунавање потребног деформационог рада.

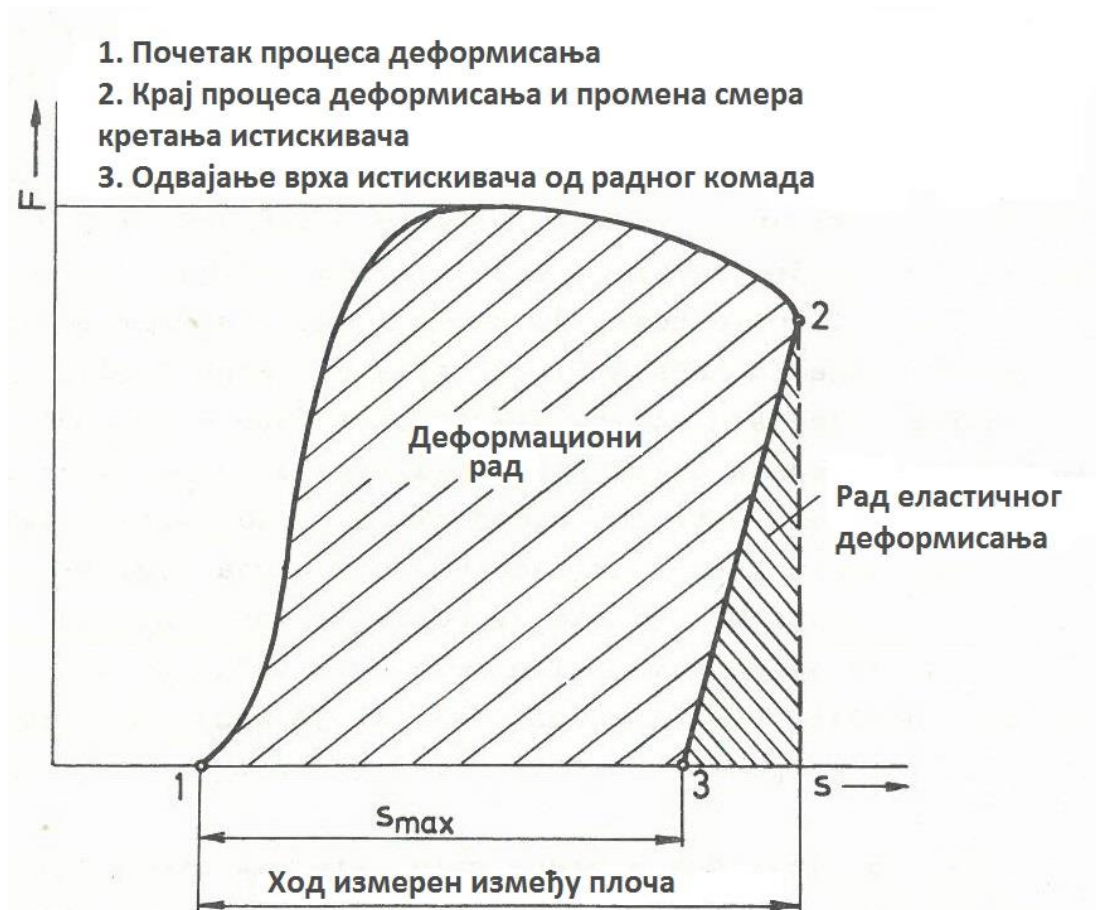
Силе истискивања у основи зависе од: врсте истискивања, својстава материјала (деформационог отпора, ојачавања, ...) , степена деформације, контактеног трења и геометријско – димензијских односа.



На сл. 8.2. Промена силе у току радног хода при истосмерном истискивању

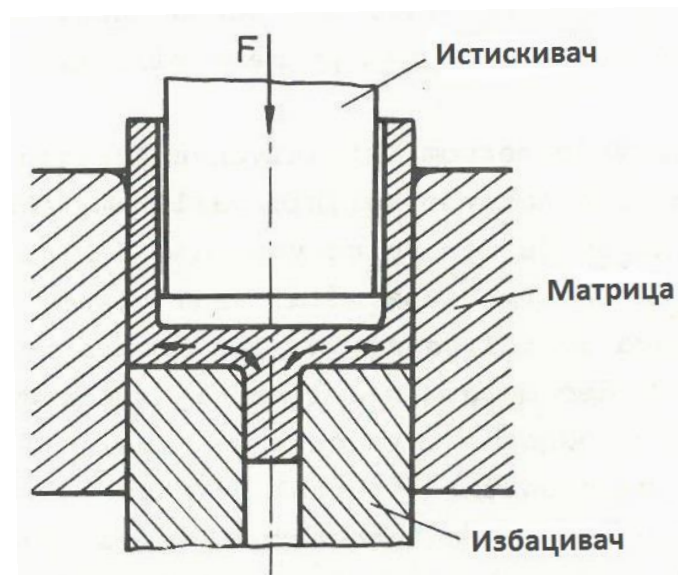
На сл. 8.2. приказана је промена силе истискивања F у току радног хода s при quasi – стационарном процесу (истосмерном истискивању пуних или шупљих тела). У почетку сила расте линеарно, савлађујући еластичне деформације у систему машина – алат – материјал, тако да је њена вредност у тачки 1 довољна да се изврши почетно истискивање, односно почетно пластично деформисање. Даље, испуњењем конусног суженог дела матрице повећава се сила до тачке 2. После тога до тачке 3 (која се налази пиближно на правој између тачака 1 и 4) сила приметно опада, а затим се равномерно мења у оквиру стационарне фазе до тачке 4 (до ове тачке сила опада услед смањења трења на површини горњег цилиндричног дела матрице, а донекле и услед пораста температуре у материјалу). Косо шрафирана повшина која одговара укупном раду деформисања W_d једнака је површини испод криве. Види се да се максимум силе достиже у тачки 2. Њен положај ће бити утолико више изражен, уколико је мањи угао конуса матрице 2α , мање почетни деформационо отпор K_0 и већи степен деформације (ϵ). Иначе на читав ток промене силе утичу: крутост алата, својство материјала (E , R_p , K , n), угао конуса матрице, степен деформације, димензијски односи припремка (h_0 / d_0) и услови трења.

У случају нестационарног процеса (супротномерно истискивање шупљих тела) дијаграм промене силе има ток према сл. 8.3. При супротномерном истискивању шупљих танкозидних делова, тј. оних са релативно великим разликама између пресека A_0 и A_1 и код којих је део релативно мале дебљине, може се јавити врло велика деформациона сила.



Сл. 8.3. Промена силе у току радног хода при супротномерном истиск. шупљих тела

Ради њеног смањења, понекада се прибегава изради једног мањег отвора на дну матрице, кроз које истиче део материјала и на тај начин долази до приметног растеређења, односно смањења максималне силе (сл. 8.4.) Јасно је да тако настали додатак накнадно мора уклонити, па читаво решење представља само нужну меру у случајевима када се проблем превелике силе не може решити на неки други повољнији начин.



Сл. 8.4. Пример израде отвора за растерећење при супротносмерном истискивању шупљих тела

Уколико се за одређивање силе истискивања користи аналитичко – теоријска методологија заснована на елементарној теорији пластичности, треба имати у виду да она укључује у себе различите претпоставке. Осим тога, поступци којима су се при овом одређивању користили различити истраживачи такође су различити и бројни, тако да се и облици изведених образаца међусобно мање-више разликују. Неки од њих су релативно гломазни и сложени, тако да нису најпогоднији за практичну примену. Такође треба напоменути да резултати добијени према њима често знатно одступају од експериментално добијених вредности.

Са друге стране, експериментални резултати немају тако широк значај као теоријски, већ су углавном везани за одређене случајеве и услове обраде, па се не могу олако проширити и на измењене услове. Међутим, коришћење резултата експерименталних истраживања врло је једноставно са практичног становишта а они су и врло поуздани уколико се не изађе из оквира поменутих ограничења.

У литератури се могу наћи бројни обрасци (теоријски изведени, или они који имају полуемпиријски карактер), а такође и различити експериментални подаци, који се често приписују појединим ауторима, као што су: Siebel, Dipper, Шофман, Sieber, Сторожев, Thomsen, Johnson, Avituzur, Perlin, McKenzie, Pugh, Altan, Schmidt, Steck, Tirosh, Fukui, Kado, Seino, Kohl, Chopin, Губкин, Geleji, Billigmann, Hauttmann, Hill, Boes и Pouw, Унксов, Kühne,...

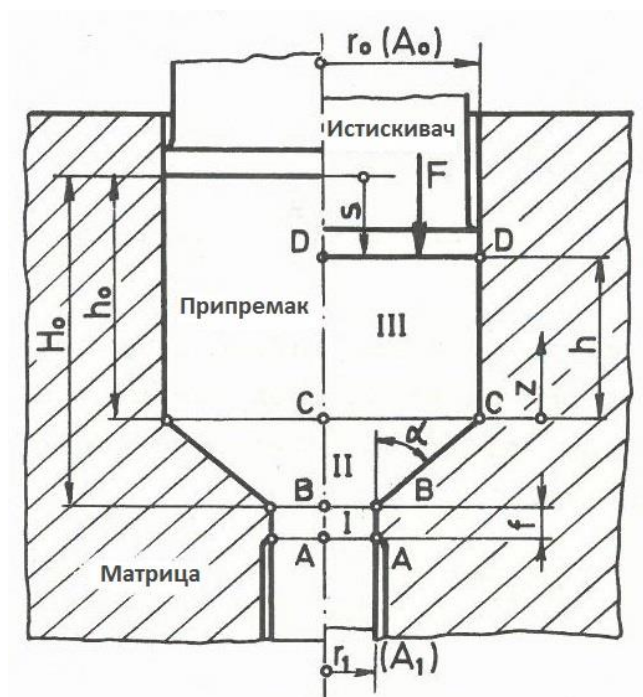
Како се резултати добијени према појединим обрасцима или дијаграмима најчешће односе на одређене претпоставке под којима су ови настали, по потреби се врше одговарајуће корекције с обзиром на: угао конуса матрице (2α), облик чела истискивача, геометријски однос h_0/d_0 , степен деформације (φ), подмазивање, итд. У даљем ће бити изложене основе неких од поменутих поступака за изналажење силе истискивања, док ће за неке међу њима бити назначени само коначни облици одговарајућих образаца.

8.3. МЕТОДА ТАНКИХ ПРЕСЕКА, SIEBEL-ОВ ПОСТУПАК

Погодно је да се у оквиру овог разматрања посебно обради сваки од три најтипичнија случаја истискивања.

8.3.1. Истосмерно истискивање пуних тела

На сл. 8.5. шематски је приказана подела запремине материјала која је при истискивању у контакту са алатом у три карактеристичне зоне (I, II, III). За сваку од њих ће се посебно одредити потребан деформациони рад, односно радни притисак, а затим сабирањем истих доћи до укупних вредности, укључујући и укупну деформациону силу.



8.5. Почетни положај и међуположај при истосмерном истискивању пуних тела

При томе, ће се учинити једна претпоставка, која је заправо мање-више грубо поједностављење. Она се састоји у томе што ће се сматрати да је радијални напон у зони I приближно једнак деформационом отпору материјала K_1 при степену деформације који њој одговара, а у зони II да је приближно једнак осредњем деформационом отпору $\bar{K}$. Такође, ће се сматрати да важи Columb - ов закон трења заснован на $\mu = \text{const}$.

Зона I

Мада се пластично деформисање материјала не врши после његовог поласка ипод равни В-В, ипак преостаје да се на дужини f савлада трење између њега и зида матрице. Одговарајућа сила трења F_{TI} делује на путу l_1 (пут трења – онај који превали материјал пролазећи кроз део алата дужине f). Његова величина може се добити из услова непоменљивости запремине

$$l_1 r_1^2 \pi = A_0 s = V = const$$

(s – радни ход истискивача: $s = h_0 - h$)

$$l_1 = \frac{A_0 s}{r_1^2 \pi}$$

Сила трења биће (уз горњу претпоставку о величини радијалног напона: $R_{rI} = p_{rI} = K_1$)

$$F_{TI} = \mu_I K_1 2r_1 \pi f$$

Одговарајући рад трења је:

$$W_{TI} = F_{TI} l_1 = \mu_I K_1 2r_1 \pi f \frac{A_0 s}{r_1^2 \pi} = \mu_I K_1 2A_0 s \frac{f}{r_1}$$

С обзиром да је величина радног хода истискивача s , биће сила на њему; потребна да се савлада ово трење, W_{TI} / s , а одговарајући радни притисак (сила редукована на јединицу површине пројекције чела истискивача)

$$p_I = \frac{W_{TI}}{s A_0} = 2\mu_I K_1 \frac{f}{r_1}$$

Зона II

Како ова зона припада подручју деформисања, могу се за њу применити односи до којих је својевремено дошао Siebel. Он је, наиме, претпоставио да је сила трења на конусном делу матрице F_{TII} управно пропорцијална идеалној сили истискивања $F_{idII} = A_0 \bar{K} \varphi$ и коефицијенту контактнoг трења μ_{II} , а обнута пропорцијална углу конуса матрице α :

$$F_{TII} = F_{idII} \frac{\mu_{II}}{\alpha} = A_0 \bar{K} \varphi \frac{\mu_{II}}{\alpha}$$

Осим тога, потребно је узети у обзир и унутрашње губитке услед савијања и исправљања влакна материјала за угао α и они су, према Eichinger – и приближно

$$F_{sII} \approx \frac{2}{3} F_{idII} \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{2}{3} A_0 \bar{K} \frac{\alpha}{\varphi} = \frac{2}{3} A_0 \bar{K} \alpha$$

Узимајући све ово у обзир, добија се укупна сила у зони II у износу

$$F_{II} = F_{idII} + F_{TII} + F_{sII}$$

Односно њеним дељењем са A_0 радни напон p_{II} у облику

$$p_{II} = \bar{K} \varphi \left(1 + \frac{\mu_{II}}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi} \right)$$

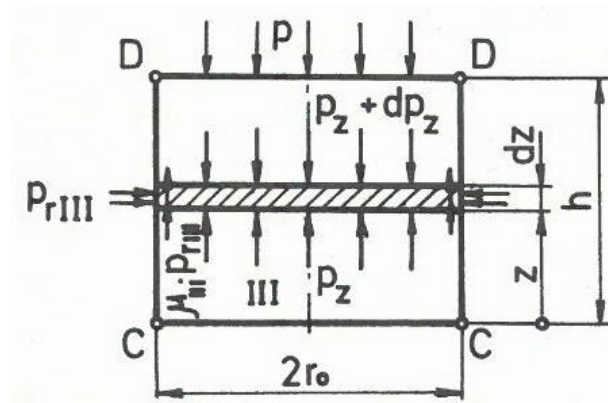
Где је: μ_{II} коефицијент трења на конусним површинама, $\bar{K}$ – средња вредност деформационог отпора у зони II, а практично се може узети да је једнака аритметичкој средини између отпора K_0 пре деформисања и K_1 – на крају (после) деформисања;

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = 2 \ln \frac{d_0}{d_1} = 2 \ln \frac{r_0}{r_1}$$

Зона III

У овој зони се практично не врши пластично деформисање, па се може сматрати да је деформациони отпор једнак K_0 , а једначина равнотеже може се поставити за издвојен елемент запремине („танки пресек“) према сл. 8.6. :

$$dp_z r_0^2 \pi = \mu_{III} p_{rIII} 2r_0 \pi dz$$



Сл. 8.6. Шема равнотеже сила које делују на издвојен елемент запремине у зони III

Односно

$$\frac{dp_z}{p_{rIII}} = \frac{2\mu_{III}}{r_0} dz$$

Из услова пластичности који важи за издвојен елемент запремине произилази

$$p_z - p_{rIII} = K_0$$

$$dp_z = dp_{rIII}$$

Па горња једначина прелази у

$$\frac{dp_{rIII}}{p_{rIII}} = \frac{2\mu_{III}}{r_0} dz$$

После интегрисања и узимања у обзир граничних услова (за $z = 0$ биће $p_{z\Pi c} = p_I + p_{II}$, односно уз предњи услов $p_{III} = (p_I + p_{II}) - K_0$) пластичности добија се

$$p_{rIII} = (p_I + p_{II} - K_0) e^{2\mu \frac{h}{r_0}}$$

Или

$$p_z = K_0 + (p_I + p_{II} - K_0) e^{2\mu \frac{z}{r_0}}$$

За $z = h$ биће $p_z = p$, а узимајући у обзир да је приближно $\mu_I = \mu_{II} = \mu_{III}$ добија се укупни радни притисак на челу истискивача

$$p = K_0 + [2\mu K_1 \frac{f}{r_1} + \bar{K} \varphi (1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi}) - K_0] e^{2\mu \frac{h}{r_0}}$$

Овај радни притисак се односи на ма који међуположај одређен висином $h = h_0 - s$, а за изражавање његове максималне вредности може се практично узети да је $h = h_0$

Предња једначина се најчешће примењује у нешто једноставнијем облику, па се може писати да је максимални радни притисак

$$p_{\max} = \bar{K} \varphi (1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi}) + 4\mu K_0 \frac{h_0}{d_0}$$

А одговарајућа максимална сила истискивања

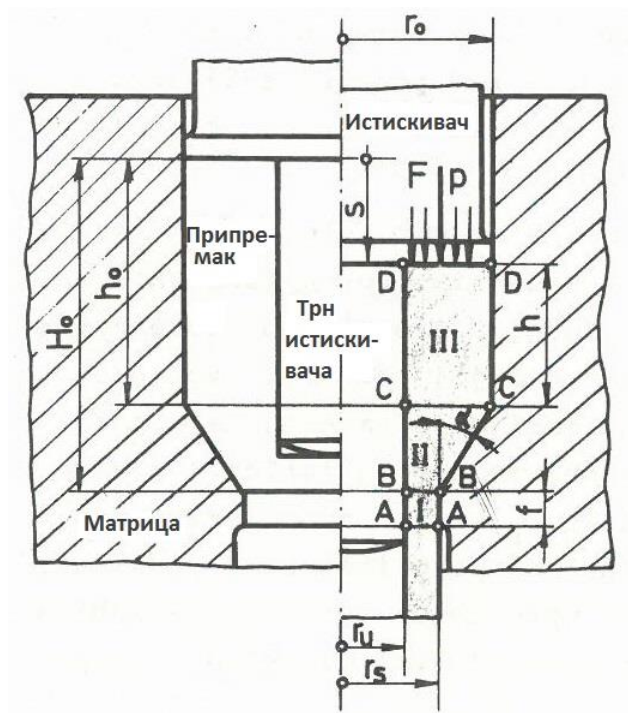
$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_0 p_{\max}$$

Претпостављајући да је сила истискивања приближно константна у току радног хода, добија се приближан износ деформационог рада у као:

$$W_d \approx F_{S_{\max}} \approx F_{\max} S_{\max}$$

8.3.2. Истосмерно истискивање шупљих тела

Начин извођења израза за радни притисак при овом истискивању потпуно је аналоган претходном случају, с том разликом што се узима у обзир и додатно трење на унутрашњим зидовима шупљине тела. На сл. 8.7. приказана је такође аналогна подела запремине материјала на три карактеристичне зоне.



Сл. 8.7. Почетни положај и међуположај при истосмерном истискивању шупљих тела

Коначни облик израза за радни притисак у овом случају је

$$p = K_0 + \left[2\mu K_1 \frac{f}{r_s - r_u} + \bar{K}_\varphi \left(1 + \frac{2\mu}{\alpha} + \frac{\alpha}{2\varphi} \right) - K_0 \right] e^{2\mu \frac{hr_0}{r_0^2 - r_u^2}}$$

Или у упрошћеном облику и уводећи замену $h \approx h_0$ добија се максимални радни напон као

$$p_{\max} = \bar{K}_\varphi \left(1 + \frac{2\mu}{\alpha} + \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\varphi} \right) + \frac{4\mu K_0 d_0 h_0}{d_0^2 - d_u^2}$$

А одговарајућа сила истискивања

$$F_{\max} = A_i p_{\max}$$

где је: чеона контактна површина истискивача

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$$

биће

$$A_0 = A_i$$

и

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_s^2 - d_u^2)$$

Приближна вредност деформационог рада биће и овде

$$W_d \approx F_{s_{\max}} \approx F_{\max} s_{\max}$$

8.3.3. Супротносмерно истискивање шупљих тела

Према Siebel – у и Dipper – у погодно је да процес истискивања шупљих тела посматрати као посебно сабијање две карактеристичне зоне (I и II) на које се може поделити читаво тело – сл. 8.8. (тзв. „метода дуплог сабијања”).

Зона I посматра се као тело које се сабија између две паралелне површине. Међутим, бочно истицање материјала у смеру стрелице I и у овом случају је спречено прстенастом зоном II, тако да се заправо на унутрашњој површини овог прстена појављује притисак p_r , који врши сабијање материјала у зони II уз зид матрице, очигледно је да он при томе мора истицати навише у смеру стрелице 2. Напомиње се да је p_r радни напон (притисак), тј. осредњена вредност стварних напона по притиснутој површини.

У складу са упршћеним обрасцем за сабијање тела правоугаоног попречног пресека (према Siebel), Dipper је за овај случај увео

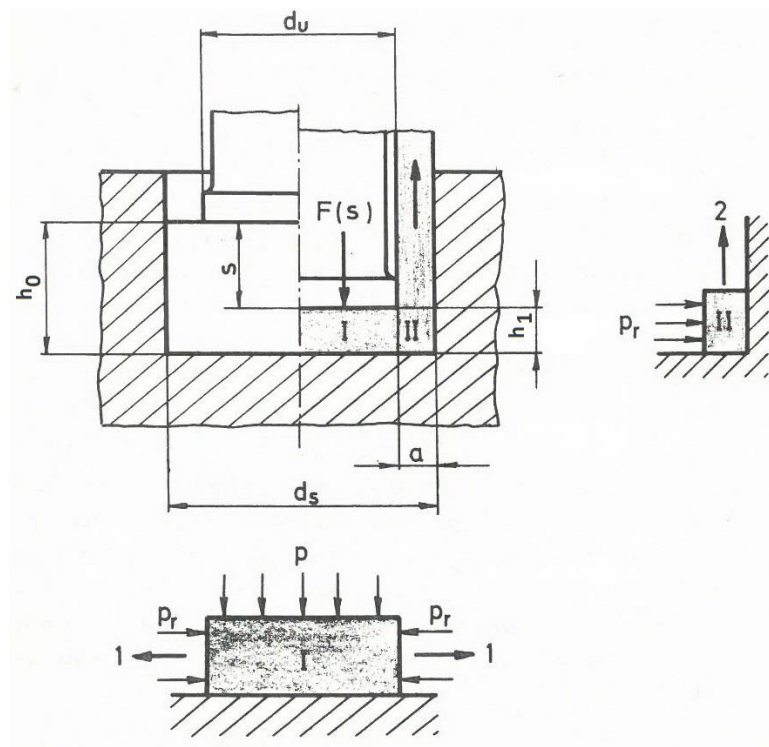
$$p_r = K_{II} \left(1 + \mu_{II} \frac{h}{a} \right)$$

Где је: h - тренутна дебљина дна тела (мења се од h_0 до h_1),

a - дебљина зида (омотача) која се не мења у току истискивања.

Радни притисак којим истискивач делује на материјал у зони I мора бити довољан да савлада, како деформациони отпор материјала у тој зони, тако и додатне отпоре који се у њој појављују – отпор прстенасте зоне II (p_r) и трење на контактним површинама. Овај радни притисак при сабијању цилиндричних тела између паралелних површина одређује се према познатом обрасцу:

$$p_h = K_I \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d_u}{h} \right)$$



Сл. 8.8. Шема сабијања две карактеристичне зоне при супротносмерном истискивању шупљих тела

Међутим, при томе се претпостављало слободно бочно истискивање материјала, тј. $p_r = 0$ док је у случају супротносмерног истискивања шупљег цилиндричног тела $p_r > 0$. Зато ће у овом случају радни притисак на чеоној контактної површини бити

$$p = p_h + p_r = K_I \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_u}{h} \right) + K_{II} \left(1 + \mu_{II} \frac{h}{a} \right)$$

Средња вредност коефицијента контактнoг трења μ_{II} добија се узимајући у обзир да са унутрашње стране зоне II нема клизања, па ни контактнoг трења ($\mu_{II} = 0,5$), а да са спољашње стране постоји трење клизања ($\mu_{II} = \mu_I = \mu$), па се може узети у обзир да је приближно

$$\mu_{II} \frac{\mu_{II} + \mu_{IIs}}{2} = \frac{0,5 + \mu_I}{2} = \frac{\mu}{2} + 0,25$$

Са овом заменом израз за радни притисак ће прећи у

$$p = K_I \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d_u}{h} \right) K_{II} \left[1 + \left(\frac{\mu}{2} + 0,25 \right) \frac{h}{a} \right]$$

Где је: $h = h_0 - s$ па зато добија радни притисак за ма који стадијум истискивања, тј. при одговарајућој преосталој дебљини дна h ;

μ - коефицијент контактнoг трења на чеоној површини зоне I у (постоји клизање);

d_u - унутрашњи пречник тела које се израђује истискивањем.

Деформациони отпори K_I и K_{II} одређују се из кривих течења на основу одговарајућих деформација φ_I и φ_{II} узимајући да је

$$\varphi = \varphi_h = \frac{h_0}{h_1}$$

и

$$\varphi_{II} = \left(1 + \frac{d_u}{8a}\right) \ln \frac{h_0}{h_1} = \left(1 + \frac{d_u}{8a}\right) \varphi_I$$

Да би се нашла вредност максималног радног притиска, односно максималне силе у току процеса, требало би установити при којој се преосталој дебљини h_k јавља тај максимум. Међутим, практично се предњи образац користи тако што се уместо тог стварног износа $h = h_k$ узима коначна висина $h = h_1 < h_k$ која одговара дебљини дна готовог дела. На тај начин, добија се коначан израз за максималан радни притисак

$$p_{\max} = K_I \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_u}{h}\right) K_{II} \left[1 + \left(\frac{\mu}{2} + 0,25\right) \frac{h_1}{a}\right]$$

Односно максимална сила

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = (A_0 - A_1) p_{\max} = \frac{\pi}{4} [d_0^2 - (d_0^2 - d_u^2)] p_{\max} = \frac{\pi}{4} d_u^2 p_{\max}$$

Деформациони рад се и у овом случају израчунава у приближном износу, тј. уз претпоставку да у току процеса не долази до знатније промене силе.

$$W_d \approx F_{S_{\max}} \approx F_{\max} S_{\max}$$

При чему је

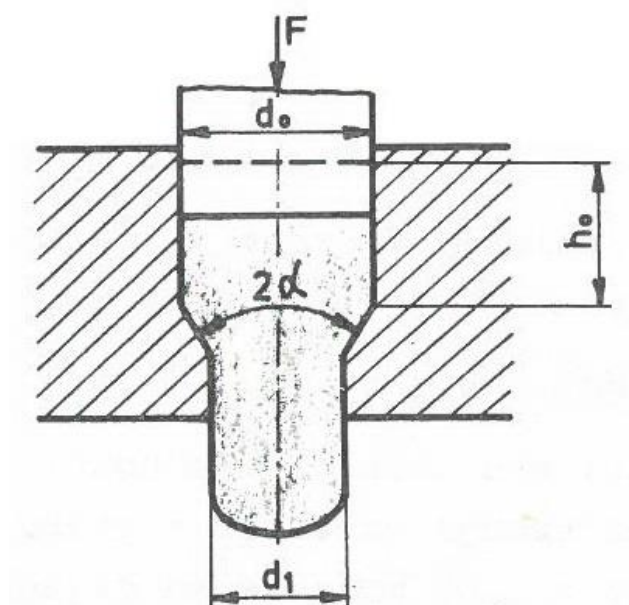
$$S_{\max} = s_1 = h_0 - h_1$$

9. ПРАКТИЧНИ ПРИМЕРИ ОДРЕЂИВАЊА ДЕФОРМАЦИОНЕ СИЛЕ ИСТИСКИВАЊА

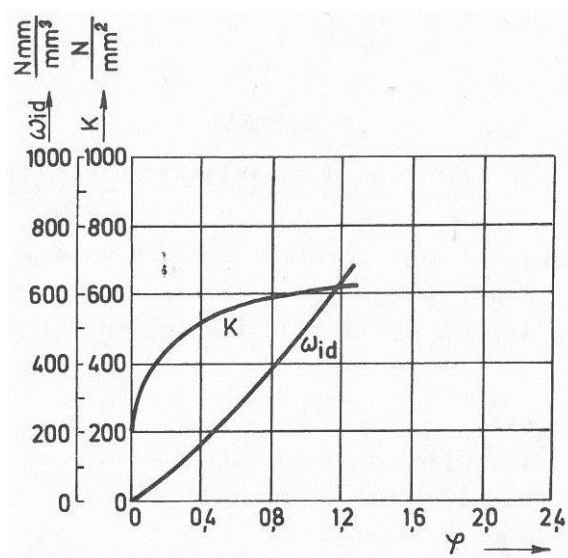
С обзиром на различите могућности израчунавања максималне силе, овде ће за сваку од три најтипичније врсте истискивања бити обрађен по један пример и то тако што ће се силе израчунавати коришћењем по неколико напред наведених поступака. На тај начин добиће се извесна илустративна представа о међусобној (не) сагласности појединих образаца и сл.

9.1. Сила при истосмерном истискивању пуног тела

Задатак: Наћи потребну силу истискивања чији облик одговара скици на сл. 9.1. Основни геометријско – димензијски подаци су: $d_0 = 90 \text{ mm}$; $d_1 = 54 \text{ mm}$; $h_0 = 132 \text{ mm}$; $2\alpha = 90^\circ$. Материјал: нискоугљенични конструкциони челик ненамењен термичкој обради са минималном затезном чврстоћом око 320 N/mm^2 и гарантованом чистоћом ($\approx \text{Č.0248}$). Граница течења је $R_p \approx 230 \text{ N/mm}^2$. Крива течења, заједно са кривом специфичних радова приказана је на сл. 9.2. Такође одредити номиналну силу машине за ову истискивање.



Сл. 9.1. Шема истискивача



Сл. 9.2. Крива течења (K) и крива специфичних радова (W_{id})

Решење:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = \frac{\pi}{4} 90^2 = 6362 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{\pi}{4} 54^2 = 2290 \text{ mm}^2$$

$$A_i = A_0 = 6362 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{6362}{2290} = 1,02$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{e^\varphi} = 1 - \frac{1}{e^{1,02}} = 0,64$$

$$\delta = 64\%$$

$$\frac{h_0}{d_0} = \frac{132}{90} \approx 1,5$$

Из криве течења произилази да је

$$K_0 \approx 230 \text{ N/mm}^2 \text{ (за } \varphi = 0 \text{)}$$

$$K \approx 600 \text{ N/mm}^2 \text{ (за } \varphi = 1,02 \text{)}$$

На основу ових вредности могао би се израчунати средњи деформациони отпор као

$$\bar{K} \approx \frac{K_0 + K_1}{2} = \frac{230 + 600}{2} = 415 \text{ N/mm}^2$$

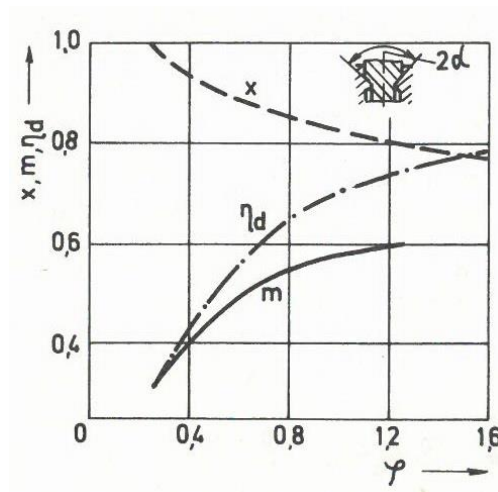
Међутим, како у овом случају деформација φ има знатан износ, пожељно је $\bar{K}$ наћи из тачнијег израза

$$\bar{K} = \frac{1}{\varphi} \int_0^\varphi K d\varphi = \frac{\omega_{id}}{\varphi}$$

Са сл. 10.2. налази се (за $\varphi = 1,02$) да је $\omega_{id} \approx 450 \text{ Nmm/mm}^3$, а дељењем ове вредности са 1,02 долази се до

$$\bar{K} = 440 \text{ N/mm}^2$$

Што ће се и усвојити као тачнија вредност. Коефицијент трења узеће се у приближном износу $\mu \approx 0,1$. На основу $\varphi = 1,02$ може се са дијаграма на сл. 9.3. прочитати вредност коефицијента $m = \eta_d \mu \approx 0,55$. За израчунавање ће се користити нешто већа затезна чврстоћа од гарантоване минималне, тј. $R_M = 360 \text{ N/mm}^2$



Сл. 9.3. Зависност вредности коефицијента x , η_d и m од степена деформације

а) Према номограма приказаном на сл. 9.9. сила је била

$$F_{\max} = 6500 \text{ kN}$$

б) По методи деформационог рада

$$F_{\max} = A_i \frac{\bar{K}}{m} = 6362 \frac{440 \cdot 1,02}{0,55} = 5191 \text{ kN}$$

в) према Siebel – у (елементарној теорији)

$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_i p_{\max} = A_i \left[\bar{K} \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi} \right) + 4 \mu K_0 \frac{h_0}{d_0} \right] = \\ &= 6362 \left[440 \cdot 1,02 \left(1 + \frac{0,1}{\frac{\pi}{4}} + \frac{2}{3} \frac{\frac{\pi}{4}}{1,02} \right) + 4 \cdot 0,1 \cdot 230 \cdot 1,5 \right] = \\ &= 5562 \text{ kN} \end{aligned}$$

г) Према Johnson-у

$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_i p_{\max} = A_i \bar{K} \left(1,5 \ln \frac{A_0}{A_1} + 0,8 \right) = \\ &= 6362 \cdot 440 (1,5 \cdot 1,02 + 0,8) = 6522 \text{ kN} \end{aligned}$$

д) Према обрасцу (Р.Е.Р.А.)

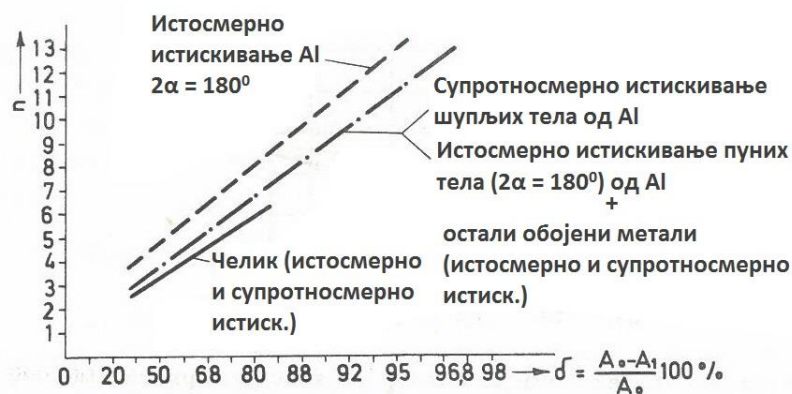
$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_i p_{\max} = A_i R_M (2,4 \ln \frac{A_0}{A_1} + 0,7) = \\ &= 6362 \cdot 360 (2,4 \cdot 1,02 + 0,7) = 7209 \text{ kN} \end{aligned}$$

ђ) Према Voess-у и Rouw-у

$$F_{\max} = A_i x n R_M$$

У овом случају може се усвојити да је $x \approx 1$, а са сл. 9.4. за $\sigma = 64\%$ читава се $n \approx 3$, па је:

$$F_{\max} = 6362 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 360 = 6762 \text{ kN}$$



Сл. 9.4. Вредности коефицијента n

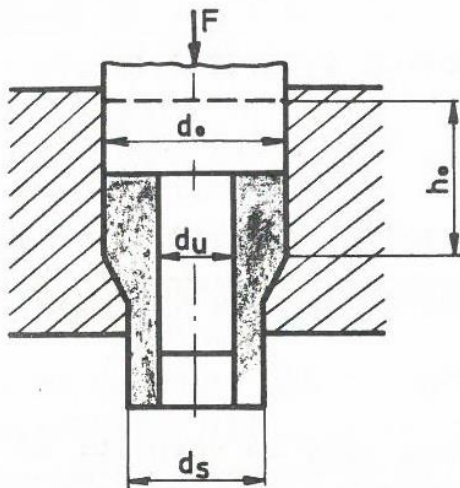
Одређивање номиналне силе машине:

Узимајући у обзир све наведене вредности, види се да се све оне крећу у опсегу око 5191-7200 kN. Поред поменутог објашњења ових разлика везаних за одсуство кориговања у неким случајевима с обзиром на однос h_0/d_0 и угао 2α , треба подсетити и на релативну несигурност и упрошћења при усвајању вредности за m , μ , $h_k \approx h_0$ (висина у критичном тренутку у коме се јавља максимална сила), чињеницу да су коришћени приближни подаци о механичким својствима материјала, као и да је коришћена крива течења за сличан, али не потпуно исти материјал. Из познатих разлога рачунски добијена сила се још увећава за око 20%, тако да се коначно може одабрати машина која овај услов задовољава, а нормљано се налази на уобичајеној скали номиналних сила за које се машине израђују, тј.

$$F_{\text{maš}} = 9000 \text{ kN}.$$

9.2. Сила при истосмерном истискивању шупљег тела

Задатак: наћи потребну силу истосмерног истискивања шупљег тела чији облик одговара скици на сл. 9.5. Основни димензијско-геометријски подаци су: $d_0 = 76\text{mm}$; $d_u = 64\text{mm}$; $d_1 = d_s = 68\text{mm}$; $h_0 = 40\text{mm}$; $2\alpha = 120^\circ$. Материјал: нискоугљенични конструкциони челик намењен термичкој обради, са минималном затезном чврстоћом $R_M = 320 \text{ N/mm}^2$ и гарантованом чистоћом ($\approx \text{Č. 0248}$). Граница течења је $R_p \approx 230 \text{ N/mm}^2$. Такође одредити номиналну силу машине за ово истискивање.



Сл. 9.5. Шема истискивача

Решење:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_u^2) = \frac{\pi}{4} (76^2 - 64^2) = 1320 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_s^2 - d_u^2) = \frac{\pi}{4} (68^2 - 64^2) = 415 \text{ mm}^2$$

$$A_i = A_0 = 1320 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{1320}{415} = 1,15$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{e^\varphi} = 1 - \frac{1}{e^{1,15}} = 0,58$$

$$\delta = 58\%$$

$$\frac{h_0}{d_0} = \frac{40}{76} = 0,5$$

Из криве течења на сл. 9.2. произилази да је

$$\bar{K} = \frac{1}{\varphi} \int_0^\varphi K d\varphi = \frac{\omega_{id}}{\varphi} = \frac{605}{1,15} = 526 \text{ N/mm}^2$$

Коефицијент трења узеће се у износу $\mu \approx 0,1$.

Са сл. 9.3. читава се за $\varphi = 1,15$ да је $m \approx 0,6$.

За израчунавање ће се користити вредност затезне чврстоће која је већа од минималне, тј. $R_M = 360 \text{ N/mm}^2$.

а) према номограму приказаном на сл. 9.10. сила је била:

$$F_{\max} = 1300 \text{ kN}$$

б) По методи деформационог рада:

$$F_{\max} = A_i \frac{\bar{K}}{m} = 1320 \frac{526 \cdot 1,15}{0,6} = 1330 \text{ kN}$$

в) према Siebel – у (елементарној теорији)

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_i \left[\bar{K} \varphi \left(1 + \frac{2\mu}{\alpha} \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\varphi} \right) + \frac{4\mu K_0 d_0 h_0}{d_0^2 - d_u^2} \right] =$$

$$= 1320 \left[526 \cdot 1,15 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,1}{\frac{\pi}{3}} + \frac{1}{3} \frac{\frac{\pi}{3}}{1,15} \right) + \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 230 \cdot 76 \cdot 40}{76^2 - 64^2} \right] =$$

$$= 1432 \text{ kN}$$

г) Према Johnson-у

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_i \bar{K} \left(1,5 \ln \frac{A_0}{A_1} + 0,8 \right) =$$

$$= 1320 \cdot 360 (1,5 \cdot 1,15 + 0,8) =$$

$$= 1199 \text{ kN}$$

д) Према обрасцу (P.E.R.A.)

$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_i p_{\max} = A_i R_M \left(2,4 \ln \frac{A_0}{A_1} + 0,7 \right) = \\ &= 1320 \cdot 360 (2,4 \cdot 1,15 + 0,7) = \\ &= 1644 \text{ kN} \end{aligned}$$

ђ) Према Voes-у и Pouw-у

$$F_{\max} = A_i x n R_M$$

У овом случају може се усвојити да је $x \approx 1$, а са сл. 9.4. за $\sigma = 58\%$ читава се $n \approx 3$, па је:

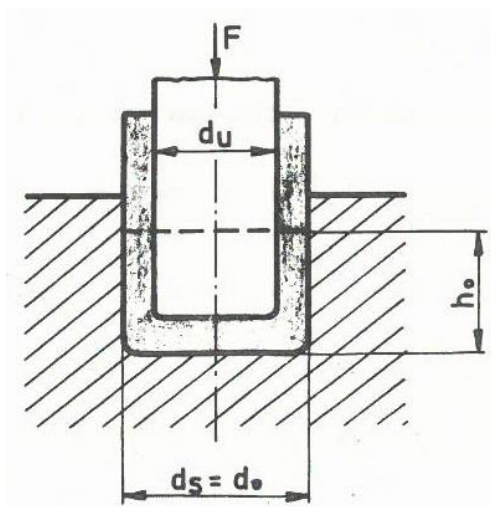
$$F_{\max} = 1320 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 360 = 1425 \text{ kN}$$

Одређивање номиналне силе машине:

Силе израчунате по различитим методама крећу се у опсегу 1300-1644 kN. Ако се изврши увећање за око 20 % долази се до силе од преко 2000 kN, па се може усвојити машина са номиналном силом $F_{\text{maš}} = 2500 \text{ kN}$.

9.3. Сила при супротносмерном истискивању шупљег тела

Задатак: наћи потребну силу супротносмерног истискивања шупљег тела чији облик одговара скици на сл. 9.6. Основни димензијско-геометријски подаци су: $d_0 = d_s = 56 \text{ mm}$; $d_u = 72 \text{ mm}$; $h_0 = 28 \text{ mm}$; $h_1 = 8 \text{ mm}$. Материјал: малоугљенични конструкциони челик намењен термичкој обради, са минималном затезном чврстоћом око 320 N/mm^2 и гарантованом чистоћом ($\approx \text{Č. 0248}$). Граница течења је $R_p \approx 230 \text{ N/mm}^2$, а тврдоћа $HB \approx HV = 110$. Такође одредити номиналну силу машине за ово истискивање.



Сл.9.6.Шема истискивача

Решење:

$$a = \frac{d_0 - d_1}{2} = \frac{56 - 46}{2} = 5 \text{ mm}$$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = \frac{\pi}{4} 56^2 = 2462 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_u^2) = \frac{\pi}{4} (56^2 - 46^2) = 800 \text{ mm}^2$$

$$A_i = A_0 - A_1 = 2462 - 800 = 1662 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} = \ln \frac{2462}{800} = 1,12$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{e^\varphi} = 1 - \frac{1}{e^{1,12}} = 0,59$$

$$\delta = 59 \%$$

$$\frac{h_0}{d_0} = \frac{28}{56} = 0,5$$

Из криве течења на сл. 9.2. произилази да је

$$\bar{K} = \frac{1}{\varphi} \int_0^\varphi K d\varphi = \frac{\omega_{id}}{\varphi} = \frac{605}{1,12} = 540 \text{ N/mm}^2$$

За израчунавање ће се користити вредност затезне чврстоће која је већа од минималне, тј. $R_M = 360 \text{ N/mm}^2$.

а) према номограму приказаном на сл. 9.11. сила је била:

$$F_{\max} = 2000 \text{ kN}$$

б) Према Siebel-у (елементарној теорији)

$$\begin{aligned} F_{\max} &= A_i \left\{ K_I \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_u}{h_1} \right) + K_{II} \left[1 + \left(\frac{\mu}{2} + 0,25 \right) \frac{h_1}{a} \right] \right\} = \\ &= 1662 \left\{ 605 \left(1 + \frac{0,1}{3} \frac{46}{8} \right) + 625 \left[1 + \left(\frac{0,1}{2} + 0,25 \right) \frac{8}{5} \right] \right\} = \\ &= 3278 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Где је } K_I \approx 605 \text{ N/mm}^2 - \text{ за } \varphi_I = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{28}{8} = 1,25$$

$$K_{II} \approx 625 \text{ N/mm}^2 - \text{ за } \varphi_{II} = \left(1 + \frac{d_u}{8a} \right) \varphi_I = \left(1 + \frac{46}{8 \cdot 5} \right) 1,25 = 2,68$$

в) Према Šofmanu

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_i k R_M \ln \frac{A_0}{A_1} = 1662 \cdot 3 \cdot 360 \cdot 1,12 = 2010 \text{ kN}$$

(релативно мала вредност може се објаснити непрецизношћу коефицијента k (који за неке метале има износ 2,5-4)).

г) Према Pugh-y

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_i 18 (\text{HB})^{0,9} \left(\ln \frac{A_0}{A_1} \right)^{0,73} =$$

$$= 1662 \cdot 18 (110)^{0,9} \cdot (1,12)^{0,73} =$$

$$= 2234 \text{ kN}$$

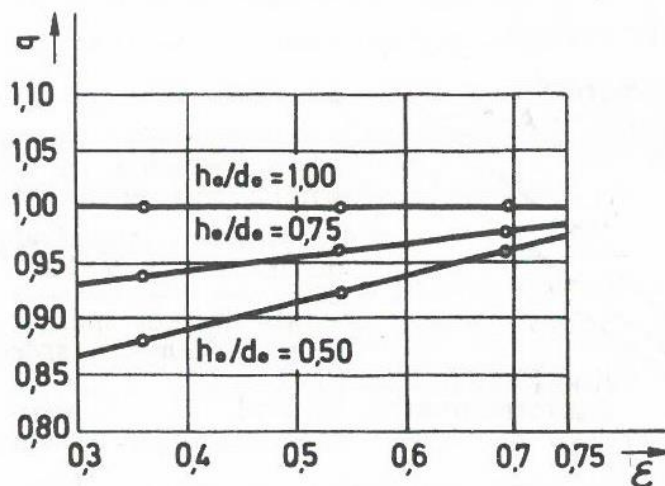
д) Према Schmitt-y

$$F_{\max} = A_i q (2,4 \cdot R_M + 50) \frac{A_0}{A_0 - A_1} \sqrt{\frac{A_0}{A_1} - 1} =$$

$$= 1662 \cdot 0,96 (2,4 \cdot 360 + 50) \frac{2462}{1662} \cdot \sqrt{\frac{2462}{800} - 1} =$$

$$= 3107 \text{ kN}$$

(корекциони фактор $q = 0,96$ узет је из дијаграма сл. 9.7.)



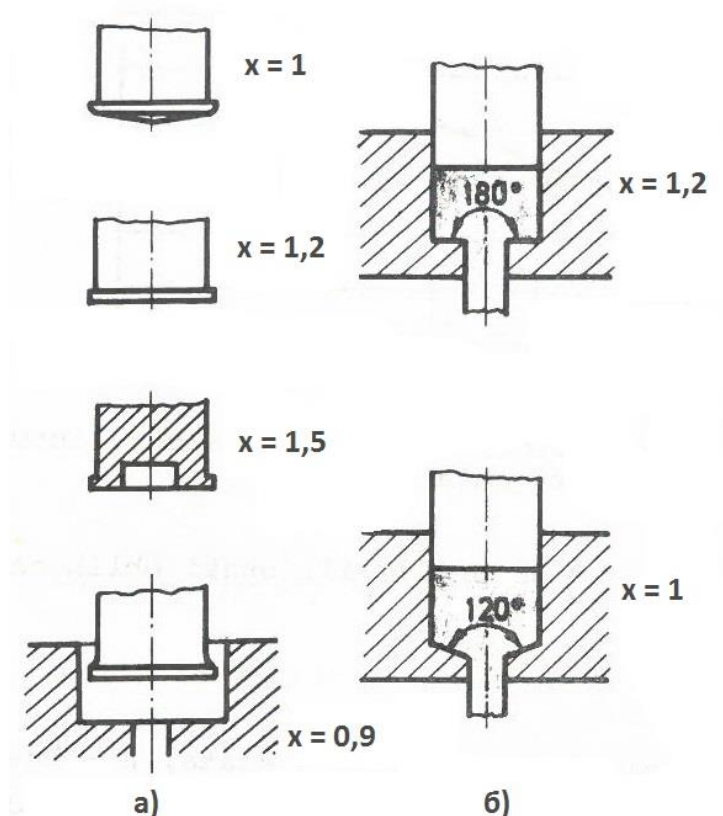
Сл. 9.7. Корекциони фактор q за случај супротносмерног истискивања

ђ) Према Воес-у и Роув-у

$$F_{\max} = A_i p_{\max} = A_i x n R_M =$$

$$= 1662 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot 360 = 2153 \text{ kN}$$

(за равно чело истискивача са сл. 9.8. налази се $x = 1,2$ а са сл. 9.4. читава се $n \approx 3$ за $\delta = 59\%$).



Сл. 9.8. Корекциони фактор облика алата x

Одређивање номиналне силе машине:

Силе израчунате по разним методама крећу се у опсегу од око 2000-3107 kN. После увећања од око 20% долази се до податка на основу кога се може усвојити машина са номиналном силом:

$$F_{\max} = 4000 \text{ kN}$$

9.4. Неки примери номограма за одређивање силе истискивања (према М. Burgdorf – у и R. Muschenborn – у)

На овом месту биће приказани само неки од већег броја расположивих номограма за одређивање силе истискивања. Они су израђени уз претпоставку да је процес стациониран, без обзира на то да ли је у питању истосмерно или супротносмерно истискивање (јасно је, на основу ранијих објашњења, да ће стварно одступање од ове претпоставке бити нешто израженије при супротносмерном истискивању). Зависност силе од утицајних чинилаца узета је у облику

$$F = \xi A_i \frac{\bar{K}}{\eta_d} \varphi$$

Где је: $\bar{K}$ – средња вредност деформационог отпора у току процеса;

$\varphi = \ln A_0 / A_1$ – површина пројекције чела истискивача;

A_0 – почетни пресек материјала (дела);

A_1 – пресек дела после истискивања;

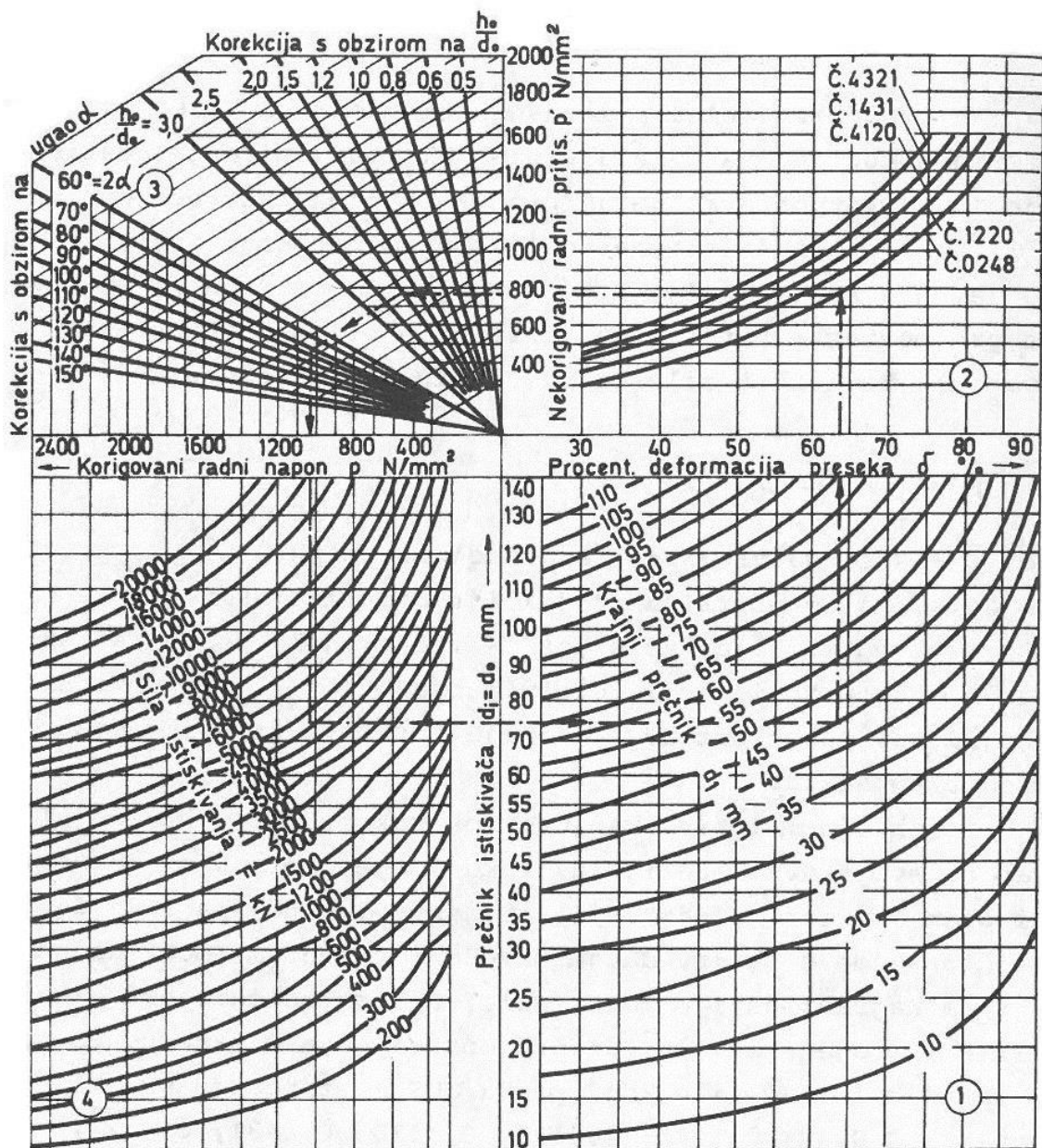
η_d – степен корисности деформисања;

$\xi \left(= \frac{1}{x} \right)$ – корекциони фактор којим се, поред осталог, узимају у обзир утицаји геометрије дела, односно алата.

При хладном истискивању износ фактора – ξ практично није завијан од својстава материјала, тако да је у предњој једначини једини члан завијан од њих $\bar{K} / \eta_d$. То истовремено значи да ће, ако се тај члан узме у обзир, даље наведени номограми моћи да се користе и за најразличитије материјале, тј. за нелегиране и легиране челике и обојене метале. Иначе, они су, овако како су приказани, израђени за челике који према стандарду приближно одговарају: Ш. 0248; (C11G1C); Ш.1221; (2C15); Ш.4320; (16MnCr5); Ш.1431; (C35E), а даље претпоставке биле су:

- Материјал је пре истискивања жарен;
- Извршено је фосфатирање и наношење мазива;
- Истискивање је вршено у хладном стању;
- Утицај брзине деформисања био је занемарљиво мали.

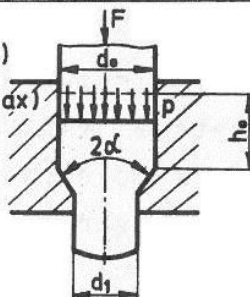
На сл. 9.9. приказан је номограм за одређивање силе истосмерног истискивања пуних тела и он се састоји из 4 поља.



Sila istiskivanja $F (=F_{max})$

Radni napon (pritisak) $p (=p_{max})$

Deformacija poprečnog preseka δ_A



Primer

Poznate vrednosti: Izrač. vrednosti

$d_0 = 75 \text{ mm}$

$d_1 = 45 \text{ mm}$

$h_0 = 110 \text{ mm}$

$2\alpha = 90^\circ$

materijal:

Č.0248

$\delta = 64\%$

$\frac{h_0}{d_0} = \frac{110}{75} = 1,5$

$p = 1050 \text{ N/mm}$

$F = 4600 \text{ kN}$

Сл. 9.9. Номограм за одређивање силе истосмерног истискивања пуних тела

У пољу 1 полази се од пречника полазног материјала d_0 (који је истовремено једнак пречнику истискивача d_i). На основу њих одређује се на апциси поља 2 релативна процентуална деформација (тј. редуција попречног пресека) δ . На пример, (в. назначену испрекидану линију са стрелицама и одговарајуће вредности), на основу $d_0 = 75 \text{ mm}$ и $d_1 = 45 \text{ mm}$ добија се $\delta = 64\%$.

Даље се, у пољу 2, на основу предњег, добија за одговарајући материјал износ некоригованог притиска p' . На пример, ако се настави дуж започете линије од $\delta = 64\%$, онда ће, за материјал $\check{C}. 0248$, некоригован радни притисак бити $p' = 780 \text{ N/mm}^2$. Ови износи за p' важе за почетни геометријски однос припремка $h_0 / d_0 = 1$ и угао конуса отвора матрице $2\alpha = 60^\circ$, па се за друкчије износе ових величина мора извршити још корекција.

Поље 3 служи за вршење тих евентуалних корекција и то: десни део за корекције с обзиром на h_0 / d_0 , а леви с обзиром на угао конуса отвора матрице. На пример, на основу напред установљене вредности $p' = 780 \text{ N/mm}^2$, долази се, за случај $h_0 / d_0 = 1, 5 \neq 1$ и $2\alpha = 90^\circ \neq 60^\circ$ до коригованог износа радног притиска $p_{\max} = 1050 \text{ N/mm}^2$.

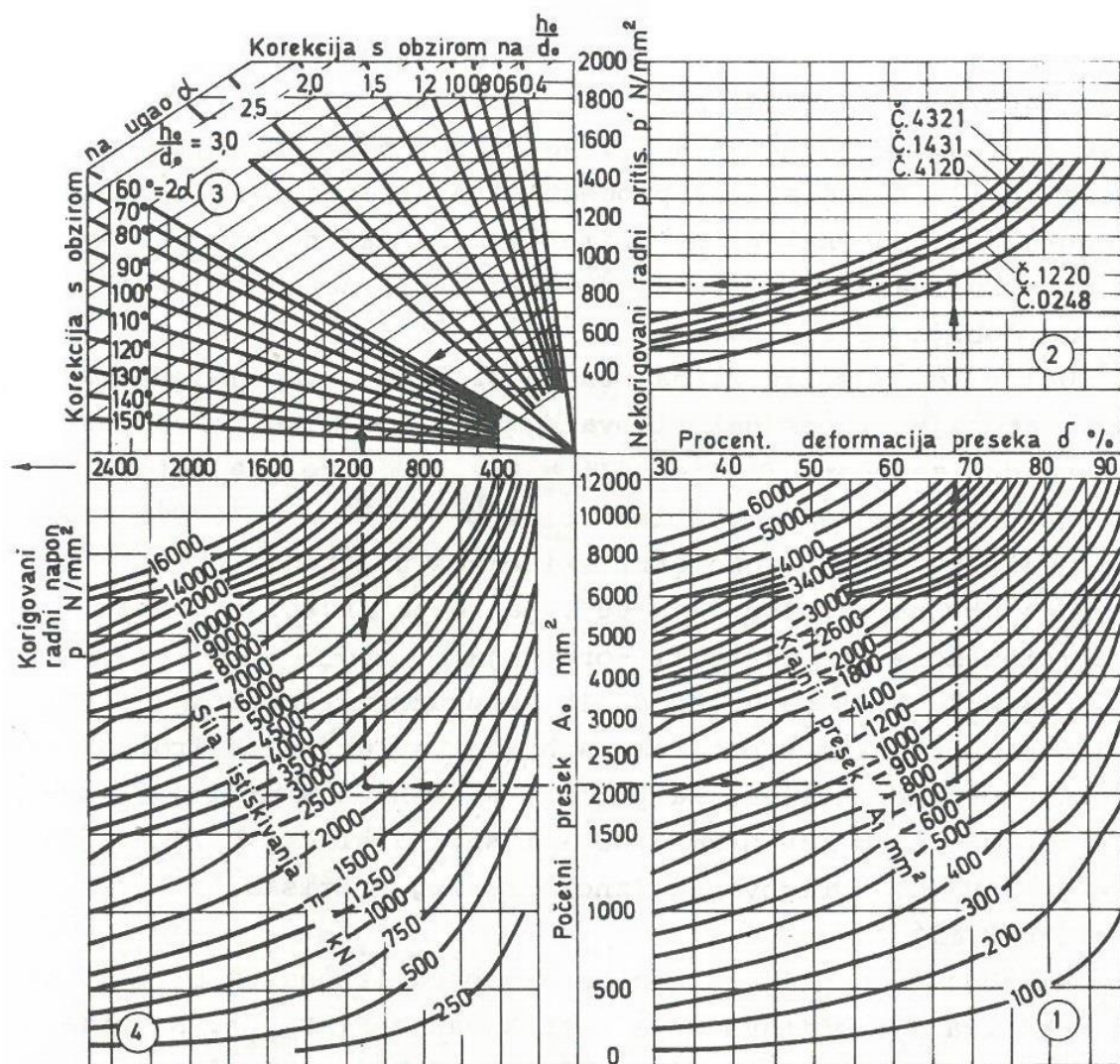
Коначно се у пољу 4, на основу овог износа $p_{\max}$ и почетног пречника d_0 , читава сила истискивања $F (=F_{\max})$. На пример, на основу узетог $d_0 = 75 \text{ mm}$ и добијене вредности $p_{\max} = 1050 \text{ N/mm}^2$ сила ће бити $F_{\max} = 4600 \text{ kN}$.

На сл. 9.10. приказан је сличан номограм, али за истосмерно истискивање шупљих тела.

У пољу 1 полази се од почетног пресека A_0 и крајњег A_1 , па се на основу њих одређује процентуална деформација δ . На пример, (в. назначену испрекидану линију са стрелицама и одговарајуће вредности), за $A_0 = 2060 \text{ mm}^2$ и $A_1 = 647 \text{ mm}^2$ добија се $\delta = 69\%$

У пољу 2 се, на основу предњег, добија за одговарајући материјал, износ коригованог радног притиска p' . Он одговара почетном геометријском односу припремка $h_0 / d_0 = 1$ и углу конуса отвора матрице $2\alpha = 60^\circ$ па се за друкчије износе ових величина мора вршити још корекција. На пример, ако се настави дуж започете линије од $\delta = 69\%$, онда ће за материјал $\check{C}.0248$ некоригован радни притисак бити $p' = 850 \text{ N/mm}^2$.

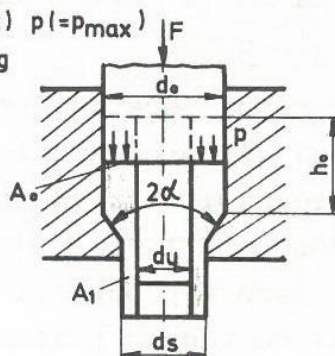
У пољу 3, врше се евентуалне корекције с обзиром на стварне износе h_0 / d_0 и 2α . На пример, на основу напред установљене вредности $p' = 850 \text{ N/mm}^2$ и $h_0 / d_0 = 0,53 \neq 1$, као и $2\alpha = 120^\circ \neq 60^\circ$, добија се износ коригованог радног притиска $p_{\max} = 1100 \text{ N/mm}^2$.



Sila istiskivanja $F (=F_{max})$

Radni napon (pritisak) $p (=p_{max})$

Deformacija poprečnog preseka δ_A



Primer

Poznate vrednosti :

$$d_0 = 95 \text{ mm}$$

$$d_s = 85 \text{ mm}$$

$$d_u = 80 \text{ mm}$$

$$h_e = 50 \text{ mm}$$

$$2\alpha = 120^\circ$$

materijal

Č.0248

Izračunate vrednosti :

$$A_0 = \frac{\pi}{4} (95^2 - 80^2) = 2060 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (85^2 - 80^2) = 640 \text{ mm}^2$$

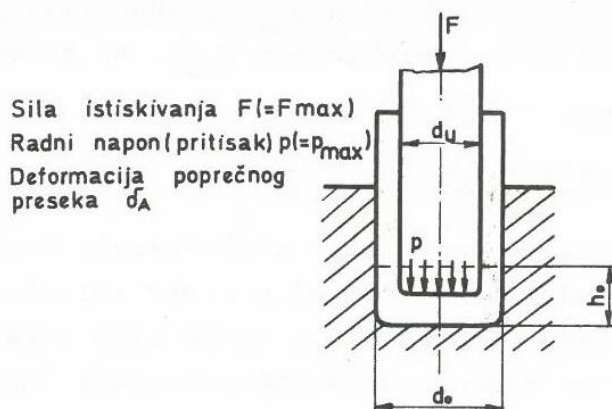
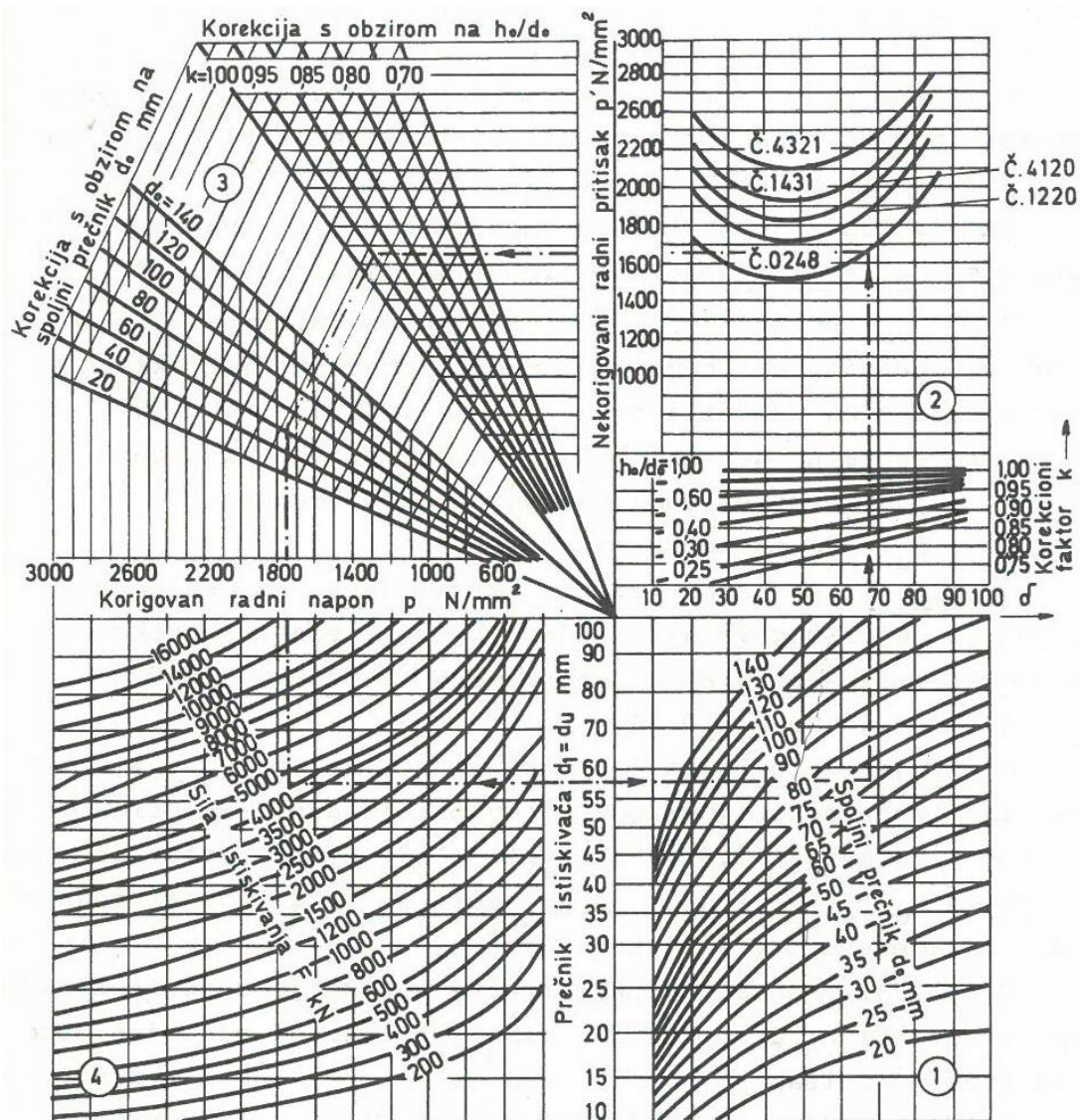
$$\frac{h_e}{d_0} = \frac{50 \text{ mm}}{95 \text{ mm}} = 0,5$$

$$\delta = 69 \%$$

$$p = 1100 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 2250 \text{ kN}$$

Сл. 9.10. Номограм за одређивање силе истосмерног истискивања шупљих тела



Primer

Poznate vrednosti :

$$d_e = 70 \text{ mm}$$

$$d_u = 58 \text{ mm}$$

$$h_e = 35 \text{ mm}$$

materijal
 Č.0248

Izračunate vrednosti :

$$\delta = 69\%$$

$$\frac{h_e}{d_e} = \frac{35}{70} = 0.5$$

$$p = 1750 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 4500 \text{ N}$$

Сл. 9.11. Номограм за одређивање силе супротносмерног истискивања шупљих цилиндричних тела

У пољу 4 се, на основу овог износа за $p_{\max}$ и почетног пресека A_0 читава потребна сила истискивања $F (=F_{\max})$. На пример, за предње податке биће $F_{\max} = 2250 \text{ kN}$

На сл. 9.11. је приказан номограм за одређивање силе супротносмерног истискивања шупљих цилиндричних тела.

У пољу 1 полази се од спољашњег пречника тела, односно почетног пречника припремке, $d_0 \approx d_s$ и пречника истискивача, односно унутрашњег пречника тела, $d_i = d_u$ на основу њих одређује се процентуална деформација δ . На пример, (v. назначену испрекидану линију са стрелицама и одговарајуће вредности), $d_0 = 70 \text{ mm}$ и $d_u = 58 \text{ mm}$ за добија се $\delta = 69\%$

У пољу 2, односно његовом доњем телу, на основу предњег, добија се h_0/d_0 за одговарајући однос h_0/d_0 вредност корекционог фактора k за висину припремке. На пример, на основу $\delta = 69\%$ и $h_0/d_0 = 0,5$ добија се $k = 0,94$.

У горњем делу поља 2, одређује се, на основу δ и врсте материјала, износ некоригованог радног притиска p' . На пример, за $\delta = 69\%$ и материјал Č.0248 биће $p' = 1680 \text{ N/mm}^2$. Пошто ти износи важе за $h_0/d_0 = 1$ и $d_0 = 30 \text{ mm}$ мора се за друкчије вредности ових параметара извршити корекција.

У пољу 3 врше се ове евентуалне корекције с обзиром на стварне вредности h_0/d_0 и d_0 . На пример, за напред одређен некоригаван радни притисак $p' = 1680 \text{ N/mm}^2$ и $k = 0,94$ као и $d_0 = 70 \text{ mm}$ добија се износ коригованог радног притиска $p' = 1750 \text{ N/mm}^2$.

У пољу 4 се, на основу износа за $p_{\max}$ читава потребна сила истискивања $F_{\max}$. На пример, за предње податке биће $F_{\max} = 4500 \text{ kN}$.

10. ЗАКЉУЧАК

На основу свих разматрања изведених у овом раду може се закључити да је истискивање вид запреминског пластичног обликовања, углавном у хладном стању, који има низ преимућстава у односу на друге поступке обраде. Предности се огледају у следећем: добијање делова са побољшаним механичким својствима, постизање велике тачности облика и димензија, висок квалитет обрађене површине, висока продуктивност и искоришћење материјала. Најширу примену налази у великосеријској производњи. Три најтипичнија случаја истискивања који су обрађени у овом раду су: истосмерно истискивање пуних тела, истосмерно истискивање шупљих тела и супротносмерно истискивање шупљих тела.

Код поступака истискивања највећи утицај на пластично течење материјала имају: својства материјала, контактено трење, геометријски односи и величина комада.

Материјали за обраду треба да имају што бољу деформабилност, односно да имају што мањи деформациони отпор и својство што мањег деформационог ојачавања. Истискивање обојених метала и легура изводи се без нарочитих тешкоћа, док се истискивање челика изводи у тешким условима често екстремних притисака и оптерећења.

Једини начин за решавање проблема трења при обради челика је наношење електрохемијских превлака (на пр. цинк фосфата) на површину комада, а затим мазива. Задњих година чине се напори за примену еколошки прихватљивих антифрикционих средстава, јер су процеси наношења фосфатних и сличних превлака веома токсични.

Геометрије комада од челика су углавном једноставније осносиметричне или ротационе форме, најчешће масе до неколико килограма.

Посебна пажња у раду посвећена је анализи процеса обликовања за три наведена поступка истискивања, као и дефинисању најважнијих параметара процеса: деформационе силе и рада. Примењена метода омогућава праћење процеса и добијање корисних и практичних формула за израчунавање силе и рада.

У практичном делу рада обрађена су три конкретна примера као илустрација примене анализираних поступака за дефинисање параметара процеса истискивања. Непосредно је показано да су поступци потпуно применљиви у пракси и да дају реалне резултате, што је потврдила компаративна анализа са емпиријским подацима.

11.ЛИТЕРАТУРА

1. Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
2. Metal Forming Handbook, Schuler, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, 1998.
3. Девеџић Б.: Обрада метала деформисањем - трећи део, Научна књига Београд, 1984.
4. Александровић С.: Технологија пластичног обликовања метала, скрипта, Факултет инжењерских наука, 2011.