

УДК 621.777.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Деревенько И. А

Винницкий национальный аграрный университет

Derevenko I.

Vinnitsia National Agrarian University

Аннотация: предложен способ моделирования процесса комбинированного выдавливания, основанный на гипотезе о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования.

Оценена деформируемость заготовок при холодном радиально - прямом выдавливании с помощью критериев, учитывающих историю деформирования частиц материала в очаге деформации. Приведены результаты расчета компонент тензора напряжений показателя напряженного состояния η . Как следует из расчетов, показатель η меняется в значительных пределах, а накопленная интенсивность деформаций достигает значения $\epsilon_{ii}=3$. Изменение показателя η в связи с ростом деформаций отражает существенное влияние истории деформирования на накопление повреждений и их залечивание, в связи с этим рассчитан ресурс пластичности для материалов с помощью различных критериев. Показана целесообразность расчета ресурса пластичности при комбинированном выдавливании с помощью критерия разрушения, учитывающего влияние третьего инварианта тензора напряжений на пластичность заготовок, деформируемых в условиях объемного напряженного состояния.

Ключевые слова: моделирование, ресурс пластичности, деформируемость, критерий разрушения.

Вступление

К известным способам обработки металлов давлением изготовления деталей типа втулок можно отнести высадку, осесимметричное прямое и обратное выдавливание, поперечное выдавливание и др. Наиболее перспективными способами обработки давлением заготовок являются процессы холодной штамповки, сочетающие перечисленные выше способы обработки давлением. Однако комбинированные способы обработки давлением сложно профилированных заготовок малоэффективны при изготовлении полых деталей. Одним из высокоэффективных способов получения полых деталей с переменной толщиной стенки является холодное радиально – прямое выдавливание на плавающей оправке [1, 2]. Этим способом можно получить полые детали разнообразной формы. На рис. 1 показаны заготовки, полученные способом комбинированного выдавливания.

В работах [1, 3] рассмотрены указанные выше процессы комбинированного выдавливания, однако в этих работах основное внимание уделено энергосиловым и кинематическим параметрам процесса, что позволяет определить форму и размеры очага деформации, выявить зоны с интенсивной степенью деформации и дать практические рекомендации получения деталей с наименьшей неоднородностью механических свойств по поперечному сечению деталей. В известной нам литературе не рассматриваются вопросы оценки качества полученных способами комбинированного выдавливания деталей. Одним из основных параметров, определяющим качество деталей является использованный ресурс пластичности – фактор технологического наследия, определяющий как служебные

характеристики изделий, так и возможность получения заготовок холодным формоизменением без разрушения.

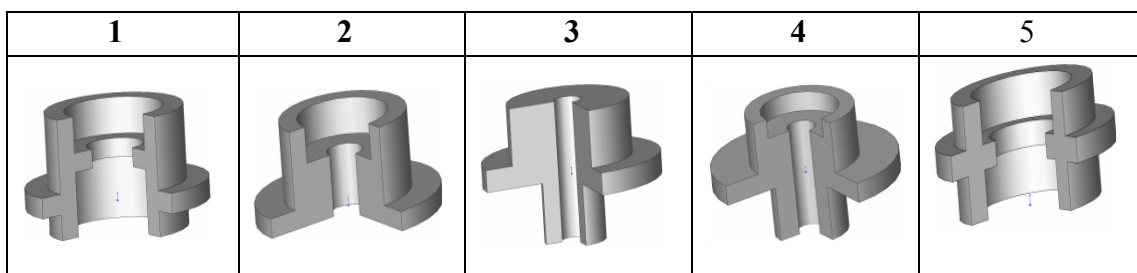


Рис. 1. Заготовки, полученные способом комбинированного выдавливания

Постановка задачи

Целью настоящей работы является моделирование процесса комбинированного выдавливания, позволяющего оценить ресурс пластичности заготовок из различных материалов.

Результаты исследования

Для решения задачи оценки ресурса пластичности необходимо располагать информацией о напряженно-деформированном состоянии в различных зонах очага деформации при комбинированном радиально-прямом выдавливании, а также иметь диаграммы пластичности металлов подверженных комбинированному выдавливанию. Напряженно-деформированное состояние определяли методом конечных элементов с помощью программы QForm2D.

На рис. 2 отмечены очаги деформации. Точками 1, 2, 3, 4, 5 отмечены частицы металла, в которых в дальнейшем будем рассматривать необходимые параметры, позволяющие рассчитать ресурс пластичности для деформируемой заготовки по различным критериям деформируемости.

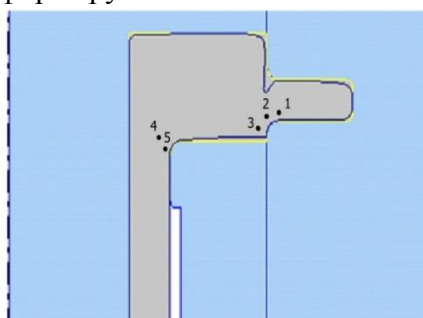


Рис. 2. Очаги деформации в заготовке при комбинированном выдавливании

В таблице 1 приведены результаты расчета компонент тензора напряжений показателя напряженного состояния η . Как следует из таблицы, показатель η меняется в значительных пределах ($-10 \leq \eta \leq 2$), а накопленная интенсивность деформаций достигает значения $\epsilon_u=3$.

Изменение показателя η в связи с ростом деформаций отражает существенное влияние истории деформирования на накопление повреждений и их залечивание, в связи с этим рассчитан ресурс пластичности для материалов с помощью различных критериев.

В таблице 1 приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния, полученные в очаге деформации при радиально-прямом выдавливании заготовок из натурального материала (алюминиевый сплав АД 31).

Таблиця 1

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния в очаге деформации при радиально-прямом выдавливании заготовок из натурального материала

Номер точки	Номер этапа деформирования	Показатель напряженного состояния $\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}$	Накопленная интенсивность деформаций ε_u	Интенсивность напряжений σ_u , МПа	Гидростатическое давление σ_0 , МПа
1	I	-	-	-	-
2		-	-	-	-
3		-	-	-	-
4		2	-	13,6	28
5		1	-	13,6	14
1	II	-0,607	0,1	362	-220
2		-2,73	0,3	260	-710
3		-4,17	0,25	175	-730
4		-1,55	0,4	252	-390
5		-0,116	0,8	259	-30
1	III	-3,417	0,2	278	-950
2		-6,22	0,6	185	-1150
3		-7,78	0,4	180	-1400
4		-2,46	1,0	142	-350
5		+2,01	1,7	149	+350
1	IV	-9,86	1,7	147	-1450
2		-8,43	1,5	178	-1500
3		-7,73	1,0	194	-1500
4		-2,35	3,0	149	-350
5		+3,07	5,0	132	405
1	V	-6,416	1,7	279	-1790
2		-7,97	1,5	212	-1690
3		-10,54	1,0	147	-1550
4		-3,54	2,5	113	-400
5		+2,95	3,0	61	+180
1	VI	-9,06	1,7	149	-1350
2		-8,66	1,5	179	-1550
3		-8,94	1,0	179	-1600
4		-5,74	2,5	61	-350
5		+1,35	2,5	133	+180

Расчет ресурса пластичности проводили с помощью известных критериев деформируемости. Наиболее простым критерием не учитывающим влияние истории деформируемости является критерий Г.А. Смирнова-Аляева:

$$\psi = \frac{\varepsilon_u}{e_p(\eta)} \leq 1, \quad (1)$$

в котором ε_u – накопленная интенсивность деформаций, $e_p(\eta)$ – зависимость накопленной интенсивности деформаций к моменту разрушения от показателя напряженного состояния; η – показатель напряженного состояния:

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}, \quad (2)$$

где $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ - сумма главных напряжений, σ_u – интенсивность напряжений.

Зависимость $e_p(\eta)$ называют диаграммой пластичности.

Критерий В. Л. Колмогорова учитывает влияние истории деформирования и получен на основе гипотезы о линейном суммировании повреждений в виде:

$$\psi = \int_0^{e_p^*} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_p(\eta)} \leq 1. \quad (3)$$

Критерий Г. Д. Деля, В. А. Огородникова, Г. В. Нахайчука учитывает влияние истории деформирования в виде производной $\frac{d\eta}{d\varepsilon_u}$ и основан на нелинейной теории накопления повреждений [4]:

$$\psi = \int_0^{\varepsilon_u^*} \left(1 + 0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{d\varepsilon_u} \right) \frac{\varepsilon_u^{0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{d\varepsilon_u}}}{\left[\varepsilon_p \eta(\varepsilon_u) \right]^{1+0,2 \operatorname{arctg} \frac{d\eta}{d\varepsilon_u}}} \leq 1 \quad (4)$$

Критерий (4) обобщен в работе [5] на случай объемного напряженного состояния:

$$\psi = \int_0^{\varepsilon_u^*} 1 + 0,2 \operatorname{arctg} \left(\frac{d\eta}{d\varepsilon_u} \frac{d\chi}{d\varepsilon_u} \right) \frac{\varepsilon_u^{0,2 \operatorname{arctg} \left(\frac{d\eta}{d\varepsilon_u} \frac{d\chi}{d\varepsilon_u} \right)}}{\left[\varepsilon_p(\eta(\varepsilon_u)) \chi(\varepsilon_u) \right]^{1+0,2 \operatorname{arctg} \left(\frac{d\eta}{d\varepsilon_u} \frac{d\chi}{d\varepsilon_u} \right)}} \leq 1 \quad (5)$$

где $\chi = \frac{\sqrt[3]{I_1(T_\sigma)}}{\sigma_u}$ - показатель напряженного состояния, учитывающий влияние третьего инварианта тензора напряжений на пластичность.

В критериях (3), (4), (5) функции $\varepsilon_p \eta(\varepsilon_u)$, $\varepsilon_p \chi(\varepsilon_u)$ аппроксимировали выражениями в пределах изменения $-10 \leq \eta \leq 2$ соотношением [6]:

$$\varepsilon_p(\eta) = \varepsilon_p(\eta = 0) \exp(-\lambda_1 \eta) \quad (6)$$

где $\lambda_1 = \ln \frac{\varepsilon_p(\eta = 0)}{\varepsilon_p(\eta = 1)}$ - коэффициент чувствительности пластичности к изменению схемы

напряженного состояния. Аппроксимация распространяется на интервал изменения $0 \leq \eta \leq 2$. На интервал изменения $-10 \leq \eta \leq 2$ распространяется аппроксимация

$$\lambda_2 = \ln \frac{\varepsilon_p(\eta = -1)}{\varepsilon_p(\eta = 0)}.$$

В дальнейшем опираясь на результаты работы [8], располагая информацией о путях деформирования частиц материала в опасных областях деформируемых заготовок (см. точки 1 - 5) при комбинированном выдавливании считая пути деформирования независимыми от свойств материала, рассчитывали ресурс пластичности для заготовок из различных материалов (стали ШХ-15, сталей 35, 40Х, 20) и цветных металлов (ЛС-59-1, ЛС-62, дюралюминия Д-1). Диаграммы пластичности перечисленных материалов построены испытаниями на сжатие, растяжение, кручение и аппроксимированы уравнениями (6). Ресурс пластичности рассчитан с помощью критериев (1), (3), (4) в MathCAD. При этом для стали 20 ресурс пластичности рассчитан по критерию (3) и по критерию (4), учитывающему влияние

третьего инварианта тензора напряжений на пластичность. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета ресурса пластичности

Название материала	Номер точки	Расчет по критерию (1)	Расчет по критерию (3)	Расчет по критерию (4)
Сталь 40X	1	1,397	0,543	0,619
	2	13,6	1,644	3,472
	3	12,57	1,792	2,915
	4	22,393	0,895	2,307
	5	12,797	0,009464	0,021
Сталь 35	1	1,622	0,554	0,643
	2	2,856	0,915	1,511
	3	11,239	1,848	3,065
	4	5,129	0,522	1,071
	5	4,723	0,00676	0,013
Сталь ШХ-15	1	1,325	0,48	0,544
	2	22,1	2,067	4,935
	3	13,18	1,658	2,696
	4	35,446	1,102	3,195
	5	17,534	0,009877	0,024
ЛС59-1	1	1,426	1,202	1,376
	2	5,844	2,242	3,351
	3	10,098	4,496	6,926
	4	9,989	2,347	3,432
	5	7,015	1,099	1,21
ЛС62	1	0,73	0,515	0,553
	2	8,815	1,236	2,075
	3	6,298	1,586	2,234
	4	14,292	0,814	1,485
	5	7,503	0,122	0,119
Дюралюминий Д-1	1	1,947	1,555	1,847
	2	7,556	2,745	4,455
	3	13,745	5,3	8,751
	4	12,955	2,534	4,134
	5	9,253	0,944	1,046
Сталь 20 $I_3(\Gamma_y) = 0$	1	1,185	0,51	0,572
	2	4,08	0,909	1,477
	3	8,85	1,581	2,462
	4	7,07	0,512	1,018
	5	5,351	0,007352	0,012
Сталь 20 $I_3(\Gamma_y) \neq 0$	1	1,233	0,758	0,853
	2	2,881	1,074	1,583
	3	8,242	2,196	3,411
	4	8,242	2,196	3,411
	5	4,208	0,061	0,061

Сопоставляя результаты расчета ресурса пластичности с помощью различных критериев, можно сделать вывод о том, что различие в результатах расчета по критериям (3)

и (4) лежит в пределах от 10 до 40%. отметим, что заготовки из стали 20 при комбинированном выдавливании в окрестности частиц 4, 5 разрушались при экспериментальных исследованиях, что и подтвердил расчет. Критерий (4) более точно предсказывает начало разрушения. В таблице 2 представлены также результаты расчета ресурса пластичности по критерию (5), учитывающем влияние третьего инварианта тензора напряжений. Для всех рассматриваемых частиц 2, 3, 4, 5 ресурс пластичности рассчитанный с помощью критерия (5) оказывается выше по сравнению с величиной ресурса пластичности рассчитанного без учета третьего инварианта тензора напряжений. Эта разница лежит в пределах от 7 до 40%.

Выводы

1. Предложен способ моделирования процесса комбинированного выдавливания, основанный на гипотезе о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования, позволивший оценивать ресурс пластичности заготовок из различных материалов.
2. Оценена деформируемость заготовок при холодном радиально - прямом выдавливании с помощью критериев, учитывающих историю деформирования частиц материала в очаге деформации.
3. Показана целесообразность расчета ресурса пластичности при радиально - прямом выдавливании с помощью критерия разрушения, учитывающего влияние третьего инварианта тензора напряжений на пластичность заготовок, деформируемых в условиях объемного напряженного состояния.

Список литературы

1. Алиева Л.И., Борисов Р.С. Комбинированное выдавливание полых деталей с фланцем // Ресурсозберегающие технологии производства и обработки материалов в машиностроении. Сб. науч. тр. в 2-х ч. Ч.1. – Луганск: ВНУ им.В. Даля, 2004. - С. 49-55.
2. Алиева Л.И. Комбинированное выдавливание втулок с фланцем // Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов ОМД. Сб. тезисов между. науч.-техн. конф. - Санкт-Петербург, 2005. - С. 23-26.
3. Алиев И.С., Алиева Л.И., Жбанков Я.Г. Формоизменение заготовки при радиально-прямом выдавливании на оправке. Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». Наукові праці. «Металургія». 2008. Вісник 10 (141) с. 201-204.
4. Дель Г.Д., Огородников В.А., Нахайчук В.Г. Критерий деформируемости металлов при обработке давлением. // Изв. ВУЗов, Машиностроение. – 1975. - №4. С. 19 – 24.
5. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением // Головне вид –во «Вища школа», 1983. – 175 с.
6. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. Киев, УМК ВО 1989. -152 с.
7. В.А.Огородников, А.В Грушко, И.А. Деревенько. Моделирование процессов обработки давлением на основе гипотезы о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования // Весник научных трудов «Обработка материалов давлением» №4 – 2012, С. 46 – 52.

Spisok literatury

1. Alieva L.I., Borisov R.S. Kombinirovannoe vyidavlivanie polyih detaley s flantsem // Resursozberegayuschie tehnologii proizvodstva i obrabotki materialov v mashinostroenii. Sb. nauch. tr. v 2-h ch. Ch.1. – Lugansk: VNU im.V. Dalya, 2004. - S. 49-55.
2. Alieva L.I. Kombinirovannoe vyidavlivanie vtulok s flantsem // Progressivnyie metody i tehnologicheskoe osnaschenie protsessov OMD. Sb. tezisov mezhd. nauch.-tehn. konf. - Sankt-Peterburg, 2005. - S. 23-26.

3. Aliev I.S., Alieva L.I., Zhbankov Ya.G. Formoizmenenie zagotovki pri radialno-pryatom vyidavlivanii na opravke. Derzhavniy vischiy navchalnyi zaklad «Donetskiy natsionalniy tehniichniy unIversitet». NaukovI pratsI. «MetalurgIya». 2008. Visnik 10 (141) s. 201-204.
4. Del G.D., Ogorodnikov V.A., Nahaychuk V.G. Kriteriy deformiruemosti metallov pri obrabotke davleniem. // Izv. VUZov, Mashinostroenie. – 1975. - #4. S. 19 – 24.
5. Ogorodnikov V.A. Otsenka deformiruemosti metallov pri obrabotke davlenim // Golovne vid –vo «Vischa shkola», 1983. – 175 s.
6. Ogorodnikov V.A. Deformiruemost i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii. Kiev, UMK VO 1989. - 152 s.
7. V.A.Ogorodnikov, A.V Grushko, I.A. Derevenko. Modelirovanie protsessov obrabotki davleniem na osnove gipotezyi o silovom i kinematicheskome podobii parametrov deformirovaniya // Vesnik nauchnyih trudov «Obrabotka materialov davleniem» #4 – 2012, S. 46 – 52.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Анотація: запропоновано спосіб моделювання процесу комбінованого видавлювання, заснований на гіпотезі про силову і кінематичну подібність параметрів деформування. Оцінена деформованість заготовок при холодному радіально - прямому видавлюванні за допомогою критеріїв, що враховують історію деформування частинок матеріалу в осередку деформації. Наведено результати розрахунку компонент тензора напружень показника напруженого стану η . Як випливає з розрахунків, показник η змінюється в значних межах, а накопичена інтенсивність деформації досягає значення $\epsilon_u = 3$. Зміна показника η у зв'язку із зростанням деформації відображає істотний вплив історії деформування на накопичення пошкоджень та їх заліковування, у зв'язку з цим розрахований ресурс пластичності для матеріалів за допомогою різних критеріїв. Показано доцільність розрахунку ресурсу пластичності при комбінованому видавлюванні за допомогою критерію руйнування, що враховує вплив третього інваріанта тензора напружень на пластичність заготовок, що деформуються в умовах об'ємного напруженого стану.

Ключові слова: моделювання, ресурс пластичності, деформованість, критерій руйнування.

MODELING OF COMBINED EXTRUSION

Summari: we propose a method for simulating the combined extrusion process, based on the hypothesis of force and kinematic similarity of deformation parameters. Evaluated at the cold formability of blanks radial - direct extrusion using criteria that take into account the history of deformation of the material particles in the deformation zone. The results of the calculation of the stress tensor components measure the stress state η . As follows from the calculations, the rate η varies considerably, and the accumulated strain intensity reaches $\epsilon_u = 3$. Change index η due to deformation growth reflects significant effect on the accumulation of deformation history and heal damage, concerning resource calculated plasticity of materials by various criteria. The efficiency of resource calculation of plasticity in the combined extrusion through failure criterion that takes into account the influence of the third invariant of the stress tensor on the plasticity of blanks, wrought in bulk stress.

Keywords: modeling, resource plasticity, deformation, fracture criterion.