

Рисунок 9. Схема обжатий в вырезных бойках

Итоговый анализ результатов моделирования позволяет сделать выводы о неблагоприятной схеме НДС металла во времяковки по существующему технологическому процессу. Причиной этого является применение только плоских бойков для операцииковки–протяжки. Использование вырезных бойков в финальных стадиях не способствует улучшению состояния НДС металла, т.к. они применяются по большей части для проглаживания поковки.

Как неоднократно описано в литературных источниках [1,2], подобная схемаковки применима для сталей с высокой пластичностью (углеродистые, нержавеющие стали). Поэтому в данном случае возникающие растягивающие напряжения не приводят к возникновению дефектов. Однако при производстве поковок из жаропрочных сталей (составляющих большую часть производимой предприятием продукции) по подобной технологии высока вероятность появления трещин, разрывов и других дефектов, что и наблюдается при реальном процессековки.

Литература

1. Технология кузнечно-штамповочного производства, издание второе переработанное. Охрименко Я.М. М. Машиностроение, 1976. 560с.
2. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. Дзугутов Я.М. Изд. 2–е, перераб. и доп. М., Металлургия, 1977. 480с.

Моделирование процесса комбинированного выдавливания с целью оценки предельного формоизменения заготовок из различных материалов

д.т.н. проф. Огородников В.А., Деревенько И.А.
 Винницкий национальный технический университет
va.ogorodnikov@mail.ru, ira.derevenko@mail.ru

Анотация. Предложен способ моделирования процесса комбинированного выдавливания, основанный на гипотезе о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования. 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.

Введение

Потребность в широкой номенклатуре изделий сложной формы в машиностроении непрерывно растет. Детали типа втулок с переменной толщиной стенки имеют сложный профиль в меридиональном сечении и обработка их резанием трудоемка, малоэффективна и сопровождается большим расходом металла. Кроме того, обработка резанием зачастую создает неблагоприятную технологическую наследственность. Очевидно, что методы холодной

объемной штамповки обладают существенными преимуществами по сравнению с механической обработкой.

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 рисунке 1 показаны заготовки, полученные способом комбинированного выдавливания, а на рисунке 2 – кинематические схемы выдавливания полых деталей.

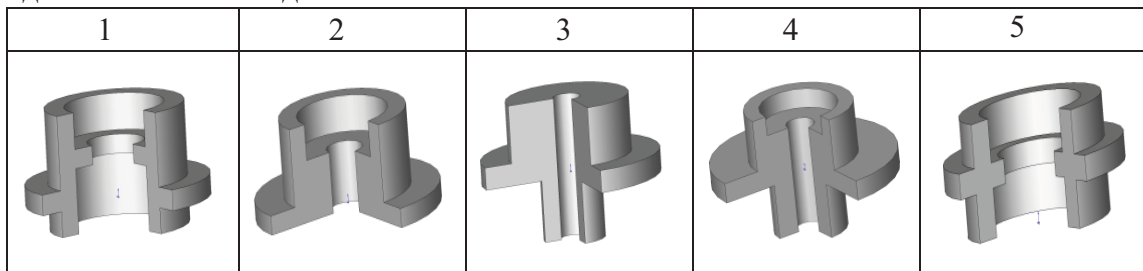


Рисунок 1. Заготовки, полученные способом комбинированного выдавливания

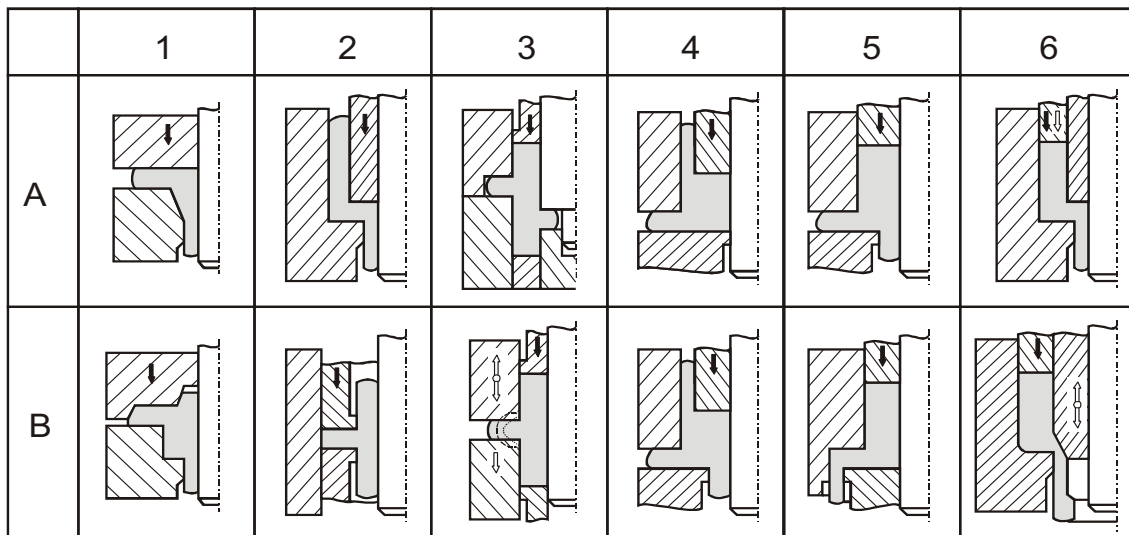


Рисунок 2. Кинематические схемы комбинированного выдавливания.

Показанные на рисунке 2 варианты получения деталей предусматривают выдавливание исходных полых заготовок и создание профиля наружной и внутренней поверхности.

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 технологической наследственности, определяющий как служебные характеристики изделий, так и возможность получения заготовок холодным формоизменением без разрушения.

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.

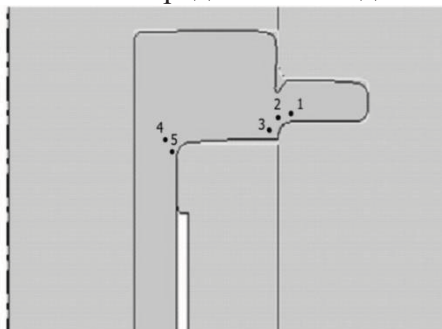


Рисунок 3. Очаги деформации в заготовке при комбинированном выдавливании

В таблице 1 приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния, полученные в очаге деформации при радиально-прямом выдавливании заготовок из модельного материала (алюминиевый сплав АД31). Кинематическая схема процесса представлена на рисунке 2 (А5).

При этом расчет вели для пяти точек (1, 2, 3, 4, 5), принадлежащих материальным частицам наиболее опасных с точки зрения исчерпания ресурса пластичности (рисунок 3). В таблице 1 приведены результаты расчета компонент тензора напряжений и показателя напряженного состояния η .

Таблица 1

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

Номер точки	Номер этапа	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

Как следует из таблицы, показатель η меняется в значительных пределах ($-10 \leq \eta \leq 2$), а накопленная интенсивность деформаций достигает значения $\varepsilon_u = 3$. 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.

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

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

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:

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}, \tag{2}$$

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:

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

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]:

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

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

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

где $\chi = \sqrt[3]{I_1(T_\sigma)}$ – 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]:

$$\varepsilon_p(\eta) = \varepsilon_p(\eta=0) \exp(-\lambda_1 \eta), \tag{6}$$

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 материа-

лов (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 40Х	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
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 $I_3(\sigma) = 0$	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 $I_3(\sigma) \neq 0$	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), учитывающему 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.

Литература

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 межд. 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 // Головные виды – 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.

Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья

д.т.н. проф. Леушин И.О., Решетов В.А., Романов А.Д., Большаков А.А.
НГТУ им. Р.Е.Алексеева,
8 (831) 436 63 88, fmvt@nntu.nnov.ru

Аннотация. В современном литейном производстве актуальной остается проблема стойкости литейной оснастки. Современные RP-технологии, вполне могут выступить в качестве альтернативы существующему положению дел. Для построения твердотельной модели оснастки используется технология послойного нанесения ABS пластика. Выбор данного пластика в качестве материала для литейной оснастки показал значительное превышение его эксплуатационного ресурса над литейной оснасткой, изготовленной из древесины.

Ключевые слова: литейная оснастка, RP-технологии.