

УДК 621.7.04

DOI: 10.12737/article\_5971e72d9cb153.82722176

**В.А. Дёмин**, д.т.н.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1)

E-mail: va\_demin@bk.ru

## **Проектирование инновационных технологий в обработке металлов давлением**

*Рассмотрены методики проектирования инновационных технологий в обработке металлов давлением. Особое внимание уделено технологическим процессам получения заготовок максимально приближенных к готовым изделиям.*

**Ключевые слова:** машиностроение; обработка металлов давлением; проектирование технологических процессов.

**V.A. Demin**, D. Eng.

(Bauman State Technical University of Moscow, 5, Building 1, 2-nd Baumanskaya Str., Moscow 105005)

## **Design of innovation technologies in metal shaping**

*The procedures of designing innovation technologies in metal shaping are considered. Particular attention is paid to the technological processes of manufacturing blanks approximated to ready-made products in the maximum possible way.*

**Keywords:** mechanical engineering; metal shaping; design of technological processes.

Современное машиностроение невозможно без применения современных инновационных наукоёмких технологий [1, 2]. Однако для их широкого внедрения в производство необходимы научно обоснованные методы проектирования технологических процессов, в частности, обработкой металлов давлением.

Сегодня перед исследователями поставлена задача максимального приближения заготовки к форме и размерам готового изделия. Одним из наиболее перспективных методов получения готовых деталей обработкой металлов давлением являются технологические процессы прессования порошков.

В работе [3] предложен инженерный метод решения задач, связанных с производством заготовок с высокой плотностью. Проведена экспериментальная оценка погрешности описания кинематики течения при штамповке порошковых заготовок с пористостью 13...14 %.

Исследовано распределение интенсивности деформаций в зависимости от материала заготовки, глубины внедрения пуансона и координаты заготовки. В результате экспериментального исследования доказано, что для решения задач деформирования заготовок с небольшой пористостью можно использовать результаты анализа напряженно-деформированного состояния при штамповке сплошных заготовок.

Также проанализировано влияние сжимаемости материала заготовки на напряжение текучести. Авторами введено понятие условного напряжения текучести и предложена методика экспериментального получения зависимости величины условного напряжения текучести для железных порошков от плотности заготовки.

Полученные результаты открывают большие возможности для анализа процессов де-

формирования заготовок из порошка существующими программными комплексами, например, QForm.

Интересные исследования проведены в Ульяновском государственном университете по изучению механизма структурообразования в процессе уплотнения порошков [4]. Теоретическое и экспериментальное исследование проводилось по схеме прессования представленной на рис. 1.

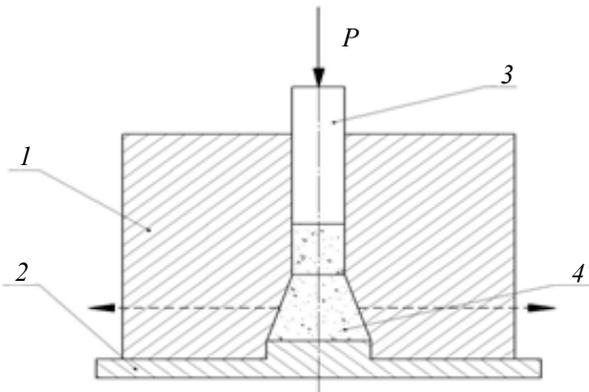


Рис.1. Схема прессования:

1 – матрица; 2 – основание пресс-формы; 3 – пуансон; 4 – порошок

Проведен расчет коэффициента преодоления энергетического барьера в момент, когда происходит схватывание металлов при образовании новой межзеренной границы. Особого внимания заслуживают работы по штамповке увлажненных механических смесей. В этом случае в порошок добавляется до 10 % воды и после этого проводится прессование. В результате получают образцы со 100 %-ной плотностью.

В листовой штамповке сегодня, при проектировании технологических процессов, особое внимание уделяется влиянию анизотропии на процесс штамповки.

Например, в работе [5] анализируется напряженно-деформированное состояние при штамповке листовой заготовки в режиме кратковременной ползучести. С использованием теории ползучести [6], исследуется операция формовки прямоугольной заготовки, у которой соотношение радиуса к толщине больше 10. Предполагается, что главные оси анизотропии совпадают с направлением главных напряжений и длина мембраны значительно превосходит ее ширину, т.е. реализуется схема плоского напряженного и деформированного состояния.

Для упрощения решения этой задачи задается форма деформируемой поверхности.

Принятые допущения позволяют получить аналитические решения для оценки силовых параметров процесса и предельных возможностей формоизменения узкой прямоугольной тонкой листовой заготовки.

Наличие анизотропии в заготовке при вытяжке цилиндрических деталей приводит к необходимости введения в технологический процесс обрезки «фестонов». Таким образом, дважды производится обрезка заготовки: первый раз при вырубке заготовки, второй – после первой вытяжки. Поэтому, для исключения из технологического процесса первой обрезки предлагается использовать многоугольную заготовку или даже квадратную.

В работе [7] проведено исследование влияния формы заготовки на предельные деформации при вытяжке цилиндрических деталей. В качестве предельной деформации принимали предельный коэффициент вытяжки.

Процесс вытяжки моделировали в программе Auto Formplus R5.1. Моделирование проводилось для марок стали: DC03, DC04 и DC05. Были получены предельные коэффициенты вытяжки, которые приведены в таблице.

### 1. Результаты расчета предельных коэффициентов вытяжки

Материал Заготовка	DC03	DC04	DC05
Круглая	0,5	0,51	0,49
Восьмиугольная	0,51	0,52	0,5
Шестиугольная	0,51	0,52	0,51
Квадратная	0,53	0,54	0,53

Как видно из таблицы, при проектировании технологических процессов вытяжки из фигурной заготовки можно использовать предельные коэффициенты вытяжки для круглых заготовок, деля их на полученные в работе коэффициенты перехода. Штамповку из восьмиугольной заготовки можно проводить при предельных коэффициентах вытяжки, полученных для круглой заготовки.

Показано, что переход на квадратную заготовку позволяет увеличить коэффициент использования материала на 15 %, исключить операцию вырубке заготовки и уменьшить заготовку на величину перемычек.

При проектировании процессов вытяжки цилиндрических деталей из квадратных заготовок необходимо учитывать изменение толщины по периметру заготовки. На рис. 2 показано характерное сечение, в котором появляется максимальная разнотолщинность. Теоре-

тически и экспериментально получено, что максимальная разнотолщинность может быть более 35 %.

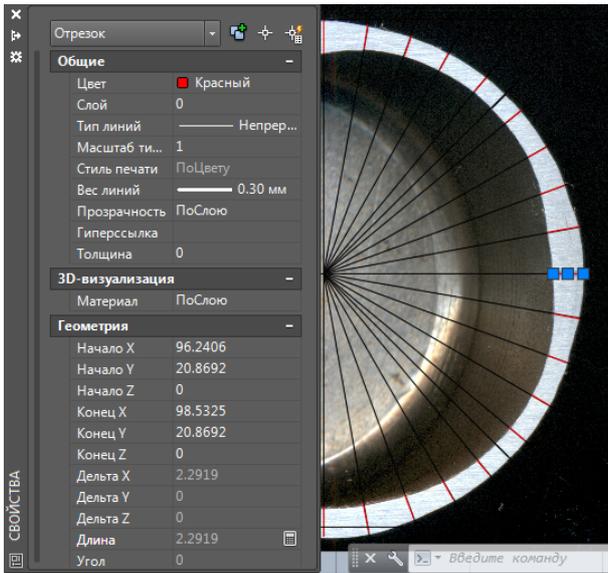


Рис. 2. Изменение толщины заготовки по периметру детали

При вытяжке из анизотропного материала на детали появляются фестоны. Для их удаления необходимо вводить дополнительную операцию обрезки. Поэтому определенным интересом представляет поиск условий, когда величина фестонов вписывается в допуск на высоту детали.

На величину «фестонов» влияют коэффициент вытяжки и анизотропия заготовки и при определенных значениях коэффициента вытяжки и коэффициентов анизотропии величина «фестонов» не будет превышать допуск на величину высоты детали.

Для изотропного материала или небольших коэффициентов вытяжки, величина «фестонов» будет незначительной, и в этом случае нет необходимости вводить в технологический процесс операцию обрезки фланца. Поэтому проанализируем влияние показателей анизотропии и коэффициента вытяжки на величину «фестонов».

Обозначим разницу высот цилиндрической детали между выступающей частью фестона и впадиной  $U$ . Рассмотрим влияние коэффициента вытяжки  $m = d_d/d_3$ , где  $d_d$  – диаметр детали;  $d_3$  – диаметр заготовки, на величину  $U$ . Влияние коэффициентов анизотропии в данной работе рассматриваться не будет. Это связано с тем, что в европейских стандартах коэффициенты не изменяются и жестко связаны с маркой стали. Для российских сталей в ГОСТ коэффициенты анизотропии не оговариваются.

Моделирование проведено в AutoFormplus R5.1. для штамповки цилиндрической детали имеющей следующие размеры:  $d_d = 70$  мм; радиус пуансона и матрицы – 8 мм; толщина – 1мм. Материалы заготовок – стали DC03, DC04 и DC05, которые являются аналогом стали 08. Механические характеристики материалов брали из программы AutoFormplus R5.1.

Для примера приведем характеристики стали DC03.

Кривая упрочнения по Сфивту:

$$\sigma = A \varepsilon^n,$$

где  $A = 560$  МПа;  $n = 0,176$ .

Коэффициенты анизотропии:  $R_0 = 2,09$ ;  $R_{45} = 1,47$ ;  $R_{90} = 2,44$ .

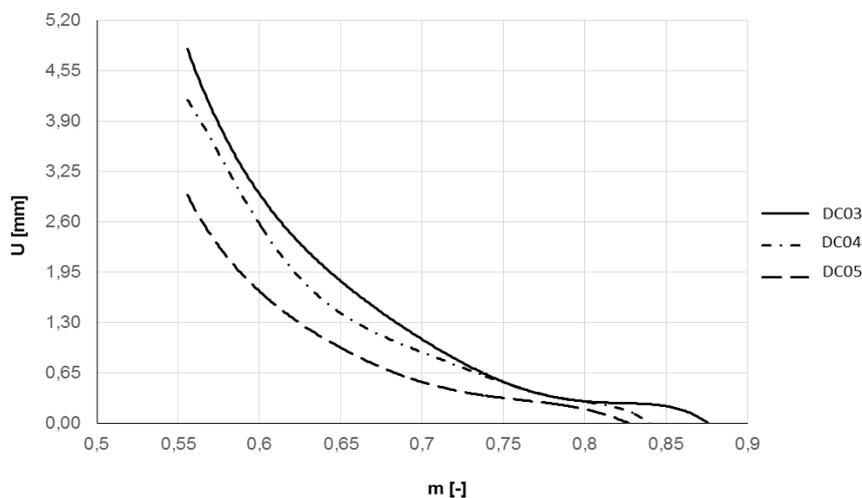


Рис. 3. Влияние коэффициента вытяжки на разность высот фестонов

Результаты расчета показаны на рис. 3. Из рисунка видно, что стали имеющие больший разброс коэффициентов анизотропии имеют большую разницу между выступами и впадинами на фланце. Большинство деталей, получаемых листовой штамповкой, изготавливаются по качеству IT14.

Для размера 70 мм допуск по ГОСТ 25346-89 будет составлять 0,74 мм и, например, для стали DC05 при  $m > 0,66$  можно исключить добавление металла на обрезку фланца, после первой операции вытяжки, а из технологического процесса штампы для обрезки фланца и второй операции вытяжки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дёмин, В.А. Инновационные технологии производства заготовок обработкой давлением // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – № 8(38). – С. 3–5.
2. Дёмин, В.А. Научные технологии обработки давлением на современном этапе развития машиностроения // Научные технологии в машиностроении. – 2016. – № 4(58). – С. 10–13.
3. Григорьев, С.Н., Дмитриев, А.М., Коробова, Н.В., Толмачев, С., Петров, М.Д. Построение метода решения задач для производства высокоплотных порошковых заготовок // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2016. – №1. – С. 50–58.
4. Кокорин, В.Н., Филимонов, В.И., Сизов, Н.А., Кокорин, А.В., Брызгин, М.А. Исследование механизма структурообразования в процессе интенсивного уплотнения порошков с использованием эффекта межчастичного сращивания // Известия МГТУ «МАМИ». – №1(19). – 2014. Т.2. – С. 114–117.
5. Ларин, С.Н., Платонов, В.И., Яковлев, (мл.) С.С. Оценка напряженного и деформированного состояния деформирования листовой оболочки из изотропного материала в режиме кратковременной ползучести // Известия

ТулГУ. Технические науки. – 2016. – №1. – С. 3–9.

6. Локощенко, А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 504 с. ISBN 978-5-9221-1645-9.

7. Дёмин, В.А., Рыжкова, А.А. Влияние формы заготовка на коэффициент вытяжки цилиндрических деталей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2016. – №11. – С. 30–34.

### REFERENCES

1. Demin, V.A. Innovation technologies in manufacturing blanks through shaping // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – № 8(38). – pp. 3–5.

2. Demin, V.A. Science intensive technologies of metal shaping at current stage of engineering development // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – № 4(58). – pp. 10–13.

3. Grigoriev, S.N., Dmitriev, A.M., Korobkova, N.V., Tolmachyov, S., Petrov, M.D. Method formation of problem solution for manufacturing high-density powder blanks // *Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability*. – 2016. – №1. – pp. 50–58.

4. Kokorin, V.N., Filimonov, V.I., Sizov, N.A., Kokorin, A.V., Bryazgin, M.A. Investigation of structure formation mechanism during powder intensive consolidation using interparticle splicing effect // *Proceedings of MSTU "MAMF"*. – №1(19). – 2014. Vol.2. – pp. 114–117.

5. Larin, S.N., Platonov, V.I., Yakovlev, (jun.) S.S. Assessment of stressed and deformed state of sheet casing made of isotropic material at short-term creep mode // *Proceedings of TulSU. Engineering Sciences*. – 2016. – №1, – pp. 3–9.

6. Lokoshchenko, A.M. Creep and Metal Long Strength. – M.: PHYSMATHLIT, 2016. – pp. 504. ISBN 978-5-9221-1645-9.

7. Demin, V.A., Ryzhkova, A.A. Impact of blank form upon elongation ration of cylindrical parts // *Blank Production in Mechanical Engineering*. – 2016. – №11. – pp. 30–34.

Рецензент д.т.н. С.Н. Ларин

