

Стоянов А.А., Бурко В.В., Шенкман Г.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНЫХ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Stoyanov A.A., Burko V.V., Shenkman G.L.

INVESTIGATION OF COMPACTING THE POWDER CONSTRUCTIONAL PARTS WITH USING OF ACTIVE TANGENT STRESS

Представлены результаты экспериментального изучения влияния активизации касательных напряжений в процессе уплотнения на свойства порошковых конструкционных деталей типа шестерни. Показано, что поворот центрального стержня пресс-формы на малый угол дает равномерное распределение плотности и снижение удельного усилия прессования. Получены диаграммы зависимостей обжатия от удельного усилия прессования и угла поворота. Рекомендован технологический режим производства на стандартных пресс-автоматах. Получено минимальное различие плотности ступицы и зуба шестерни.

***Ключевые слова:** прессование, пористое тело, касательное напряжение, уплотнение, формообразование, шестерня, градиент плотности.*

Введение

В производстве порошковых конструкционных деталей, важно обеспечить требуемый уровень физико-механических свойств и размерную точность в больших партиях изделий. С этой точки зрения важным является соблюдение равномерного и однородного процесса уплотнения порошкового материала, что обеспечивает, стабильность указанных параметров при последующем спекании и термообработке.

Как известно, уплотнение и формообразование пористых тел реализуются за счет пластической деформации элементарных объемов материала, которую вызывают напряжения от внешнего деформирующего усилия [1, 2]. Эти напряжения условно разделяют на нормальные и касательные. Принято считать, что нормальные напряжения действуют в направлении приложения усилия и их воздействие вызывает деформации, в результате которых меняются объем и плотность деформируемого пористого тела [3]. Касательные, или сдвигающие напряжения, направлены под углом к направлению нормальных напряжений, и от их

воздействия возникают деформации, изменяющие форму пластически деформируемого пористого тела.

Соотношение нормальных и сдвигающих напряжений определяет схему напряженно-деформированного состояния. Многочисленными исследованиями доказано [4, 5, 6], что схемы, в которых преобладают сдвигающие напряжения, являются более эффективными, т.е. дают большую плотность порошкового материала и равномерность ее распределения, при одинаковом деформирующем усилии, по сравнению с другими схемами.

Цель

Целью работы является экспериментальное изучение влияния активизации касательных напряжений в процессе уплотнения на свойства получаемых порошковых конструкционных деталей.

Результаты исследований

Исследования влияния касательных напряжений на свойства порошковых конструкционных деталей, выполнены при изготовлении опытной партии детали "Шестерня", которые применяются в топливном насосе обогревателя кабины грузового автомобиля (рис. 1). По техническим условиям, для обеспечения требуемых гидравлических параметров насоса, плотность детали должна быть не менее $7,0 \text{ г/см}^3$, твердость 500 – 700 HV. Деталь представляет собой мелкозубную шестерню (модуль 0,8) с числом зубьев 15. Длина общей нормали трех зубьев составляет $3,66_{-0,022}$ мм, причем допуск на колебание длины общей нормали на одной детали задан 0,01 мм.

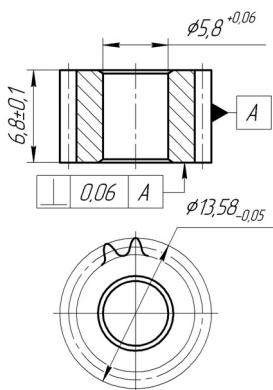


Рис. 1. Чертеж детали «шестерня»

Рассмотрение требований точности к данному изделию показывает, что все размеры, кроме высоты, имеют весьма жесткие допуски. Это предъявляет повышенные требования к материалу, точности пресс-формы и технологии изготовления порошковых заготовок.

В качестве материала использовалась порошковая сталь 60Н4Д2М, на основе частичнолегированного порошка, который характеризуется минимальной усадкой при спекании и термообработке. Матрица и пуансоны экспериментальной пресс-формы изготовлены на электроэрозионном оборудовании из инструментальной стали Х12МФ, в соответствии с чертежом детали. Изделия изготавливались по стандартной технологии: приготовление шихты, двухстороннее прессование, спекание, термообработка.

По результатам обмеров первых партий деталей были выявлены значительные отклонения от заданных размеров "длина общей нормали трех зубьев" и "колебание длины общей нормали". Проведенные металлографические исследования, а затем и замеры плотности фрагментов детали показали, что плотность зубчатого венца значительно меньше плотности ступицы. При общей плотности детали $6,9-7,0 \text{ г/см}^3$, плотность ступицы составляла $7,2-7,3 \text{ г/см}^3$, зубчатого венца – $6,5-6,8 \text{ г/см}^3$. Это вызывало различную величину усадки при спекании, и как следствие, потерю точности.

Анализ технологии показал, что градиент плотности образуется на стадии засыпки шихты в полость матрицы перед прессованием из-за малого размера зубьев. Этот градиент полностью не удалось устранить известными способами: увеличением сыпучести шихты, изменением последовательности движений элементов пресс-формы, виброуплотнением при засыпке, т.к. перечисленные способы имеют ряд ограничений при реализации на конкретном технологическом оборудовании.

Поэтому было принято решение попробовать обеспечить равномерность ступицы и зубьев детали в ходе формообразования, наложением на деформируемый объем активных сдвигающих нагрузок. Такая схема деформации реализована наложением вращательного движения на центральный стержень пресс-формы, рис. 2.

Для экспериментальной проверки влияния активизации касательных напряжений в процессе уплотнения на распределение плотности и свойства получаемых порошковых конструкционных деталей изготовлена специальная оснастка, схема которой показана на рис. 3. На этой оснастке были отпрессованы исследовательские партии деталей при варьировании основных технологических параметров. Эксперименты проводились на испытательной машине УММ-10.

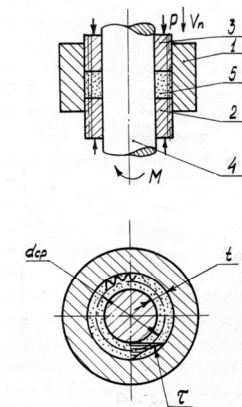


Рис. 2. Схема деформации с наложением на деформируемый объем активных сдвигающих нагрузок: 1 – матрица; 2 – нижний пуансон; 3 – верхний пуансон; 4 – вращающийся стержень; 5 – формируемая деталь

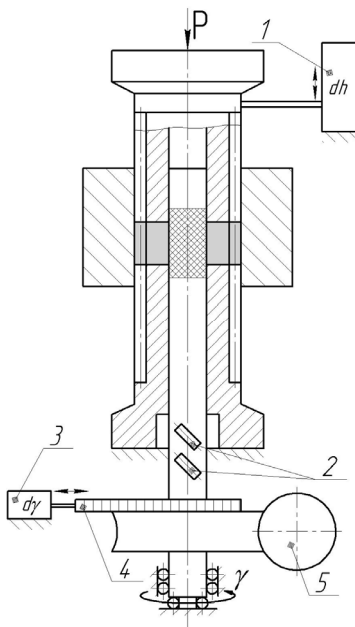


Рис. 3. Схема экспериментальной оснастки:
 1 – датчик вертикального перемещения; 2 – датчик момента кручения;
 3 – датчик угла поворота; 4 – зубчатая рейка; 5 – червячный редуктор

При испытаниях регистрировались следующие параметры: усилие прессования, текущая высота прессовки (обжатие), угол поворота и момент кручения центрального стержня пресс-формы. Усилие прессования измерялось силоизмерителем испытательной машины, момент кручения – с помощью тензометрической измерительной системы. Кинематические параметры (перемещение пуансонов и угол поворота) – индукционными датчиками линейного перемещения.

По результатам эксперимента, аналогично [7] строились диаграммы зависимостей обжатия от удельного усилия прессования и угла поворота центрального стержня (рис. 4). Изучались два режима прессования: прессование с одновременным поворотом центрального стержня и прессование с последующим поворотом стержня, то есть поворот стержня осуществлялся после приложения сжимающего усилия, когда порошковое тело имело плотность в пределах $6,7...6,9 \text{ г/см}^3$. Необходимо отметить, что на цилиндрическую поверхность центрального стержня для уменьшения проскальзывания относительно порошкового тела была нанесена мелкая насечка.

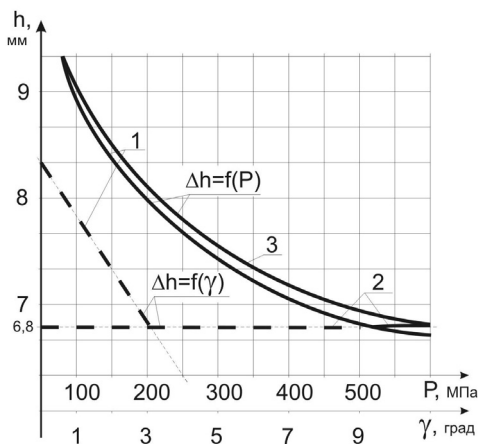


Рис. 4. Диаграммы зависимостей обжатия Δh от удельного усилия прессования P и угла поворота γ : 1 – прессование и поворот одновременно; 2 – поворот после прессования; 3 – прессование без поворота

На рис. 4 кривые 1 отражают результаты для первого режима испытаний (прессование и поворот реализуется одновременно). Анализируя приведенные данные, можно сделать вывод, что поворот центрального стержня в процессе прессования на малый угол ($2...3^\circ$) приводит к сни-

жению удельного давления формообразования по сравнению с прессованием без поворота центрального стержня (кривая 3, рис. 4).

Наибольший интерес представляет второй режим (кривые 2), при котором первая фаза процесса формообразования проходит традиционно (осуществляется двустороннее прессование в закрытой пресс-форме), а поворот центрального стержня осуществляется после достижения необходимого удельного усилия прессования. Характерно, что при этом удельное усилие прессования существенно снижается (кривая 2 зависимости $\Delta h = f(P)$, рис. 4), и фактически, становится равным удельному усилию формообразования по первому режиму. При этом резкое снижение удельного усилия происходит при повороте центрального стержня на угол $2 \dots 3^\circ$ и незначительное – при дальнейшем повороте стержня.

Что касается количественной оценки эффекта использования активных касательных напряжений при формовании рассматриваемой порошковой детали, то по нашим данным оба режима дают примерно одинаковые результаты с точки зрения снижения удельного усилия формообразования для получения требуемого обжатия. Они также обеспечивают повышение плотности прессовки по сравнению с обычной схемой прессования и дают равномерное ее распределение в теле прессовки. С точки зрения экономии затрат на подготовку производства, рекомендуется принять для использования первый режим, который технологически легче реализуется на стандартных пресс-автоматах.

Обмеры деталей, изготовленных с использованием активных касательных напряжений по первому режиму, показали соответствие размеров требованиям чертежа. Результаты металлографических исследований и определения плотности подтвердили равномерное распределение плотности в теле детали. Максимальное различие плотности ступицы и зуба составило не более $0,1 \text{ г/см}^3$. Необходимо отметить хорошую повторяемость достигнутого результата на больших партиях деталей.

Выводы

Экспериментально изучено влияние активизации касательных напряжений в процессе уплотнения на свойства порошковых конструктивных деталей типа шестерни. Получены диаграммы зависимостей обжатия от удельного усилия прессования и угла поворота центрального стержня пресс-формы. Показано, что поворот центрального стержня на малый угол способствует выравниванию плотности в теле прессовки и снижает удельное усилие прессования. Рекомендован технологический режим производства на стандартных пресс-автоматах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение / Р.А. Андриевский. – М.: Металлургия, 1991. – 297 с.
2. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т. 2. Формование и спекание: Учебник для вузов / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – М.: МИСИС, 2002. – 320 с.
3. Феноменологические теории прессования порошков / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк, Л.А. Максименко и др. - Киев: Наук. думка, 1982. - 140 с.
4. Бобровник Ю.А. Технологические возможности применения холодной объемной штамповки железопорошковых заготовок / Ю.А. Бобровник, И.С. Литманович // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 5. – С. 10–12.
5. Сердюк Г.Г. Пластическое деформирование порошковых изделий в незамкнутых объемах / Г.Г. Сердюк // Порошковая металлургия. – 1995. – № 5/6. – С. 25–31.
6. Стоянов А.А. Способ доштамповки деталей из порошковых материалов / А.А. Стоянов, В.В. Бурко, Г.Л. Шенкман // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: збірник наукових праць СНУ. – Луганськ: вид. СНУ. – 2000. – С. 78–81.
7. Стоянов А.А. Разработка и освоение комбинированных технологических процессов прессования сложнопрофильных высокоточных деталей из низколегированных порошков: дис. канд. техн. наук: 05.03.05 / Стоянов Александр Анатольевич. – Луганск, 1994. – 191 с.

REFERENCES

1. Andrievskij R.A. Poroshkovoe materialovedenie / R.A. Andrievskij. – М.: Metallurgija, 1991. – 297 p.
2. Libenson G.A. Processy poroshkovej metallurgii. V 2-h t. T. 2. Formovanie i spekanie: Uchebnik dlja vuzov / G.A. Libenson, V.Ju. Lopatin, G.V. Komarnickij. – М.: MISIS, 2002. – 320 p.
3. Fenomenonologicheskie teorii pressovanija poroshkov / M.B. Shtern, G.G. Serdjuk, L.A. Maksimenko i dr. – Kiev: Nauk. dumka, 1982. – 140 p.
4. Bobrovnik Ju.A. Tehnologicheskie vozmozhnosti primenenija holodnoj obemnoj shtampovki zhelezoporshkovykh zagotovok / Ju.A. Bobrovnik, I.S. Litmanovich // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1990. – № 5. – P. 10–12.
5. Serdjuk G.G. Plasticheskoe deformirovanie poroshkovykh izdelij v nezamknutyh obemah / G.G. Serdjuk // Poroshkovaja metallurgija. – 1995. – № 5/6. – P. 25–31.
6. Stojanov A.A. Sposob doshtampovki detalej iz poroshkovykh materialov / A.A. Stojanov, V.V. Burko, G.L. Shenkman // Resursozberigauči tehnologii virobnictva ta obrobki tiskom materialiv u mašinobuduванні: Book of scientific papers. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Lugansk. – 2000. – P. 78–81.
7. Stojanov A.A. Razrabotka i osvoenie kombinirovannykh tehnologicheskikh processov pressovanija slozhnoprofil'nyh vysokotochnykh detalej iz nizkolegировannykh poroshkov: dis. kand. tehn. nauk: 05.03.05 / Stojanov Aleksandr Anatol'evich. – Lugansk, 1994. – 191 p.

Стоянов О.А., Бурко В.В., Шенкман Г.Л. Дослідження пресування порошкових конструкційних деталей з використанням активних дотичних напружень.

Представлені результати експериментального вивчення впливу активізації дотичного напруження в процесі ущільнення на властивості порошкових конструкційних деталей типу шестерні. Показано, що поворот центрального стрижня прес-форми на малий кут дає рівномірний розподіл щільності і зниження питомого зусилля пресування. Отримані діаграми залежностей обтискання від питомого зусилля пресування і кута повороту. Рекомендований технологічний режим виробництва на стандартних прес-автоматах. Отримана мінімальна відмінність щільності маточини і зуба шестерні.

Ключові слова: пресування, пористе тіло, дотичне напруження, ущільнення, формоутворення, шестерня, градієнт щільності.

Stoyanov A.A., Burko V.V., Shenkman G.L. Investigation of compacting the powder constructional parts with using of active tangent stress.

The purpose of the work is an experimental study of influence of tangent stresses activation in the process of compaction on the properties of finished powder constructional parts.

The investigations have executed at manufacturing of experimental batch of parts of gear's type which are used in a fuel pump. The turn of central bar of press-form was carried out on a small angle for providing of identical density of hub and teeth of the parts. The experimental tooling are designed and manufactured. The research batches of gears, which are subjected to metallographical investigations and measuring of density, have been compacted on the deigned tooling.

It is shown that the turn of central bar of press-form on a small angle gives the uniform distribution of density and reduction of specific force of compacting. The technological mode of production is recommended on standard presses. The minimum distinction of density of hub and teeth of gear is determined.

The diagrams of dependences of compression are obtained on the specific force of compacting and the angle central bar's turn. The optimum quantity of the turn of central bar, providing the uniform stress-strain state, is determined.

Keywords: compacting, porous body, tangent stress, compression, shaping, gears, gradient of density.

Стоянов А.А. – канд. техн. наук, доцент Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.
e-mail: oomd@snu.edu.ua

Бурко В.В. – канд. техн. наук, доцент Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.
e-mail: burko_v@mail.ru

Шенкман Г.Л. – ст. преп. Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.
e-mail: oomd@snu.edu.ua