

УДК 621.833:621.7

В.А.Шаповалов, аспирант

ОАО «Завод «Фиолент»

ул. Киевская, 34/2, г. Симферополь, Украина, 95017

E-mail: upm@phiolent.com

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Анализируются методы расчета прессового инструмента при изготовлении зубчатых колес методом порошковой металлургии. Определяется возможность уменьшения погрешностей изготовления зубчатого колеса, связанных с их формоизменением в результате технологических операций путем корректирующего расчета параметров зубчатого венца полости матрицы.

Ключевые слова: зубчатое колесо, погрешность, математическая модель, порошковая металлургия, прессование.

В процессе изготовления зубчатых колес методом порошковой металлургии особые требования предъявляются к расчету и изготовлению прессового инструмента. Анализ формоизменения колес при операциях прессования, спекания и термообработки показывает, что геометрические размеры зубчатого колеса на таких операциях как прессование и спекание могут меняться в пределах одного процента, а суммарное изменение геометрических размеров с учетом всех изменений на разных операциях составляет 0,1 – 0,3 %. Актуальным является разработка метода расчета прессового инструмента с учетом этих изменений.

В работах [1,2] представлены методы расчета размера полости матрицы для изготовления деталей цилиндрической формы методом порошковой металлургии с учетом упругого последствия при прессовании (по внутреннему диаметру, по внешнему диаметру, по высоте), упругого последствия при калибровке, усадки при спекании, припуска на калибровку, допуска на износ. В работе [3] описана методика расчета матриц для изготовления пластмассовых зубчатых колес методом литья под давлением с учетом различных возможных усадок по диаметру колеса по толщине и по высоте зуба.

Целью данной статьи является анализ различных методов расчета прессового инструмента и разработка метода расчета рабочей полости матрицы при изготовлении зубчатых колес методом порошковой металлургии, учитывающей погрешности формы, возникающие при проведении технологических операций формообразования.

При производстве косозубых зубчатых колес изготовленных методом порошковой металлургии 7...9 степени точности актуальным является проведение теоретических и экспериментальных исследований в области проектирования прессовой оснастки. Учитывая что, отклонения формы и размеров в основном являются систематическими погрешностями можно существенно повысить точность изделий, учитывая в размерах формующего инструмента наряду со средней величиной роста/усадки и их неравномерность.

Исходными данными для расчета размеров пресс-формы являются следующие величины: размеры готового изделия (высота h , поперечный размер D , размер отверстия d) и допуски на них, плотность готового изделия и ее пределы (нижний γ_1 , верхний γ_2), упругие последствия по линейным размерам после прессования в процентах α_n или в абсолютной величине l_n , объемная усадка (или рост) при спекании в процентах χ , усадка (или рост) по линейным размерам при спекании в процентах β или в абсолютной величине ϵ , увеличение (или уменьшение) площади поперечного сечения при спекании в процентах χ , припуск на калибрование линейных размеров P_k , упругие последствия по линейным размерам после калибрования (или допрессовки) в процентах α_k или в абсолютной величине l_k , увеличение (или уменьшение) площади поперечного сечения после калибрования (или допрессовки) в процентах χ , прирост плотности при калибровании (или допрессовке) спеченного изделия в процентах τ , уменьшение веса изделия при спекании за счет выгорания смазок, восстановления окислов и пр. в процентах ξ . Вышеперечисленные величины определяются опытным путем или выбираются по таблицам.

Размеры рабочей полости матрицы зависят от наружных размеров изделия, изменения размеров в процессе изготовления (упругое последствие, рост или усадка при спекании и термообработки) и принимаются минимально возможными, чтобы обеспечить наибольший припуск на износ матрицы. Принимая во внимание, что при изготовлении зубчатых колес операция калибровки не используется, то отсутствует припуск на калибровку и упругие последствия по линейным размерам после

калибрования. Если задан конечный размер изделия с допусками $D_{+H.П.}^{+B.П.}$, то номинальный размер полости матрицы составит:

$$D_M = D_{МИН} \pm \varepsilon - l_n \pm \varepsilon_T, \quad (1)$$

где l_n – упругие последствия по линейным размерам после прессования в абсолютной величине; ε – усадка (или рост) по линейным размерам при спекании в абсолютной величине, ε_T – усадка (или рост) по линейным размерам при термообработке в абсолютной величине.

Припуск на износ матрицы:

$$\Delta D = D_M^1 - D_M - A_M,$$

D_M^1 – максимально допустимый размер матрицы, A_M – действительный допуск отверстия матрицы при ее изготовлении.

Размер D_M^1 определяется из выражения:

$$D_M^1 = D_{МАКС} \pm \varepsilon - l_n \pm \varepsilon_T.$$

Величины упругих последствий при прессовании и усадки при спекании и термообработке находят экспериментально или по таблицам.

Размеры стержня зависят от размера формируемого отверстия, изменения размера в процессе изготовления и принимают максимально возможными, чтобы обеспечить наибольший припуск на износ стержня.

Если задан конечный размер отверстия с допусками $d_{+H.П.}^{+B.П.}$, то номинальный размер рабочей части стержня составляет:

$$d_{СТ} = d_{МАКС} \pm l_n \pm \varepsilon \pm \varepsilon_T. \quad (2)$$

Припуск на износ стержня

$$\Delta d = d_{СТ} - d_{СТ}^1 - A_{СТ},$$

$d_{СТ}^1$ – максимально допустимый размер матрицы; $A_{СТ}$ – действительный допуск отверстия матрицы при ее изготовлении.

Размер $d_{СТ}^1$ определяется из выражения

$$d_{СТ}^1 = d_{МИН} \pm \varepsilon - l_n \pm \varepsilon_T.$$

Расчет технологических размеров не проводится при проектировании пресс-форм для прессования изделий с припусками на механическую обработку.

Величины упругих последствий при прессовании, усадки при спекании и термообработке находят экспериментально или по таблицам.

Если принять, что:

$$e = \frac{l_n}{D}, \quad s_p = \frac{\varepsilon}{D}, \quad s_T = \frac{\varepsilon_T}{D},$$

где e – коэффициент относительного упругого последствия при прессовании; s_p – коэффициент относительной усадки при спекании; s_T – коэффициент относительного роста/усадки при термообработке, то:

$$D_a + \Delta D_a = d_m(1 + e + s_p + s_T).$$

На практике связь между наружным диаметром прессовки и внутренним диаметром матрицы определяется следующим выражением:

$$(D_a + \Delta D_a)/(1 + e + s_p + s_T) > d_m > D_a/(1 + e + s_p + s_T).$$

Связь диаметра отверстия прессовки и диаметра центрального стержня соответственно определяется выражением:

$$D_i/(1 + e + s_p + s_T) > d_k > (D_i + \Delta D_i)/(1 + e + s_p + s_T),$$

где D_a – наружный диаметр прессовки; ΔD_a – допуск на диаметр прессовки; D_i – диаметр отверстия прессовки; ΔD_i – допуск на диаметр отверстия; d_k – диаметр центрального стержня; d_m – внутренний диаметр матрицы.

Для того чтобы размеры прессовки оставались в допуске при некоторых колебаниях e , s_T , s_p пределы допуска сужают на 20 % с обоих концов и тогда диаметры матрицы и стержня определяются следующим образом:

$$d_m = (D_a + 0,2\Delta D_a)/(1 + e + s_p + s_T) \text{ и } d_k = (D_i - 0,2\Delta D_i)/(1 + e + s_p + s_T).$$

Допустимый износ матрицы составит:

$$\Delta d_m = 0,6\Delta D_a / (1 + e + s_p + s_T),$$

а допустимый износ центрального стержня:

$$\Delta d_k = 0,6\Delta D_i / (1 + e + s_p + s_T).$$

При изготовлении зубчатых колес методом порошковой металлургии необходим учет не только средней величины усадки, но и ее неравномерности.

Рассмотрим основные подходы расчета матриц для изготовления зубчатых колес методом порошковой металлургии с учетом различных возможных усадок по диаметру колеса по толщине и по высоте зуба. Для учета неравномерного характера формоизменения зубчатого венца наряду с коэффициентом формоизменения по окружности вершин зубьев S_a вводятся дополнительные коэффициенты формоизменения, в частности по диаметру основной окружности S_b и толщине зуба S_s , которые определяются по результатам измерений опытной партии зубчатых колес по формулам:

$$S_a = \frac{d_a^m - d_a^k}{d_a^m},$$

$$S_b = \frac{d_b^m - d_b^k}{d_b^m},$$

$$S_s = 1 - \frac{\theta_b^k}{\theta_b^m},$$

где d_a^m – диаметр вершин зубьев матрицы; d_b^m – диаметр основной окружности матрицы; θ_b^m – угол, соответствующий толщине зуба на основной окружности

В общем виде такой подход позволяет произвести расчет основных параметров зубчатого венца полости матрицы с учетом всех видов погрешностей формоизменения зубчатого колеса изготовленного методом порошковой металлургии.

Возможны следующие частные случаи формоизменения при усадке:

– при $S_s = 0$; $r_k = r_b / \cos \theta_k$; $S_a = S_b$ она соответствует модели равномерной усадки по радиусу;

– при $S_b = 0$; $d_b^k = d_b^m = d_b$ происходит изменение толщины и высоты зуба, а усадка зубчатого венца колеса в размерах матрицы компенсируется изменением параметров d_a и x .

В основу методики расчета формообразующих деталей пресс-форм для зубчатых колес положена математическая модель усадки.

В общем случае величина и характер компенсации размеров зависят от модуля зацепления m , числа зубьев колес z , коэффициента смещения исходного контура x , а также марки материала. Для корректировки формы можно воспользоваться: введением дополнительного коэффициента смещения x , с одновременным изменением диаметра вершин зубьев d_a , изменением модуля зацепления m , профильного угла α , или толщины зуба s , назначением нестандартных коэффициентов высоты головки и ножки зуба h_a , h_f , изменением нескольких из указанных параметров одновременно или применением зацеплений с нестандартными профилями.

Учитывая, что технологические формоизменения зубчатого венца колеса вследствие сложной конфигурации его контура происходит неравномерно, в общем случае матрицы должны иметь нестандартные значения параметров исходного контура и для их изготовления необходимо проектировать специальный инструмент.

Целесообразность изготовления матриц с нестандартными параметрами производящего исходного контура для порошковых зубчатых колес определяется следующим условием:

$$f_{pbr}^k \leq |f_{pb}^k|,$$

где $|f_{pb}^k|$ – нормированная величина предельного отклонения шага зацепления для колеса; f_{pbr}^k – фактическое предельное отклонение шага зацепления.

Расчет геометрических параметров матриц изготавливаемых с помощью инструмента со специальным исходным профилем осуществляется следующим образом.

При описании процесса технологической усадки зубчатого венца с использованием трех коэффициентов относительной усадки S_a , S_b , S_s основные параметры формообразующих матриц рассчитывают по формулам

$$d_a^m = \frac{d_a^k}{1 - S_a}; d_b^m = \frac{d_b^k}{1 - S_b}; \theta_b^m = \frac{\theta_b^k}{1 - S_s}.$$

где d_a^m – диаметр вершин зубьев матрицы, d_b^m – диаметр основной окружности матрицы, θ_b^m – угол, соответствующий толщине зуба на основной окружности.

При определении параметров производящего реечного контура для зубчатых колес, спроектированных в параметрах исходного контура, модуль матрицы при изготовлении назначают исходя из технологических возможностей и обычно принимают равным модулю прессуемого колеса, корректируя только угол профиля α^m .

Учитывая, что:

$$d_b^m = m^m z \cos \alpha^m$$

угол профиля α^m определяется выражением:

$$\alpha^m = \arccos \frac{d_b^m}{m^m z (1 - S_b)}.$$

Коэффициент смещения исходного контура матрицы x^m определяется из условия получения требуемой толщины зуба колеса по основной окружности согласно [3]:

$$x^m = \frac{z}{2 \operatorname{tg} \alpha^m (1 - S_s)} \left[\frac{\pi S_s}{2z} + \frac{2(x^k)^* \operatorname{tg} \alpha}{z} + \operatorname{inv} \alpha^k - (1 - S_s) \operatorname{inv} \alpha^m \right],$$

где $(x^k)^* = \frac{\left(E_{Hs}^k - \frac{T_H^k}{2} \right)}{m^k + x^k}$; E_{Hs}^k и T_H^k – соответственно наименьшее дополнительное смещение и допуск на смещение исходного контура колеса.

Рассмотренные методы расчета прессового инструмента позволяют учесть формоизменения деталей при изготовлении методом порошковой металлургии и имеют практическое значение для производства. Метод расчета геометрических параметров матрицы, изготавливаемой с помощью инструмента со специальным исходным профилем, позволяет учесть в проектируемом прессовом инструменте все виды изменений размеров и формы зубчатого венца при изготовлении зубчатых колес методом порошковой металлургии, решая задачу повышения точности изготовления зубчатых колес.

Перспективной дальнейших исследований является разработка метода расчета геометрических параметров матрицы изготавливаемой с помощью инструмента со стандартным исходным контуром с учетом коррекции всех формоизменений при изготовлении зубчатых колес.

Бibliографический список использованной литературы

1. Радомысльский И.Д. Пресс-формы для порошковой металлургии. Расчет и конструирование / И.Д. Радомысльский, Е.Л. Печентковский, Г.Г. Сердюк. — К.: Техника, 1970. — 172 с.
2. Поздняк Н.З. Проектирование и оборудование цехов порошковой металлургии / Н.З. Поздняк, А.Н. Крушинский. — М.: Машиностроение, 1965. — 299 с.
3. Антонюк В.Е. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / В.Е. Антонюк, М.М. Кане, В.Е. Старжинский. — Минск: УТ Технопринт, 2003. — 766 с.

Поступила в редакцию 27.03.2011 г.

Шаповалов В.О. Аналіз методів розрахунку пресового інструмента використання в підвищенні точності виготовлення зубчастих коліс методом порошкової металургії

Аналізуються методи розрахунку пресового інструменту при виготовленні зубчастих коліс методом порошкової металургії. Визначається можливість зменшення похибок виготовлення зубчастого колеса, пов'язаних з їх формо змінням в результаті технологічних операцій.

Ключові слова: зубчасте колесо, похибка, математична модель, порошкова металургія, пресування.

Shapovalov V.A. Analysis of methods for calculating the pressing tool used to increase the accuracy of gear wheels production by means of powder metallurgy

Analysis of methods for calculating the pressing tool in the gear wheels manufacturing by means of powder metallurgy is conducted. Determined is the possibility to reduce errors of manufacturing gear that is associated with form change as a result of technological procedures.

Keywords: gear, error, mathematical model, powder metallurgy, forming.