

УДК 621.7.043

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГОТОВОК НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Дмитрий Николаевич Бадулин

*Магистр 1 года**кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: В.А. Дёмин,**доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»*

Предлагается методика оценки влияния физических и механических свойств заготовки на результаты расчеты при моделировании операций листовой штамповки. В качестве примера рассмотрен случай определения максимальных напряжений при вытяжке цилиндрического колпачка.

Ключевые слова: обработка металла давлением, листовая штамповка, точность расчета.

В настоящее время при исследовании процессов обработки металлов давлением, при проведении экспериментальных исследований, тщательно измеряют физические и механические характеристики заготовки, а так же характеристики факторов, влияющих на процесс штамповки. Проводится экспериментальное исследование и его результаты сравнивают с результатами теоретического исследования. Причем при математическом моделировании закладывают механические и физические характеристики конкретного материала, который использовался в экспериментальном исследовании.

Полученные результаты анализируются и даются рекомендации по проектированию конкретных технологических процессов на производстве. При этом не учитывается, что по ГОСТам физические и механические характеристики материала и условий штамповки могут изменяться в достаточно широких интервалах. Например, сталь 08 по ГОСТ 9045-93 и ГОСТ 19904-90 имеет достаточно широкий интервал изменения предела прочности и толщины. Поэтому представляет интерес вопрос, как могут изменяться характеристики процесса штамповки во времени, при изменении характеристик заготовок и факторов влияющих на процесс штамповки.

Для расчетов используем **PTC Mathcad Prime 3.1**. Принимаем, что изменение факторов, влияющих на процесс штамповки, подчиняется нормальному закону распределения и используем оператор **rnorm(m, μ, σ)**: который возвращает вектор **m** случайных чисел, имеющих нормальное распределение. Где **μ** — вещественное среднее **σ** — вещественное среднеквадратическое отклонение, **σ > 0**. **m** — целое число, **m > 0**.

Подставляя полученные значения для факторов в математическую модель или в полученные аналитические зависимости, получаем выборку с числом элементов **n**.

Поиск доверительного интервала для выходного параметра можно сформулировать следующим образом.

Необходимо оценить с помощью доверительного интервала математическое ожидание **m** нормально распределенной случайной величины **x** с неизвестной дисперсией **σ²**.

В качестве выборочной функции для оценивания **m** используем арифметическое среднее:

$$\tilde{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где **n** — объем выборки.

а для оценивания **σ²** используем реализацию выборочной дисперсии:

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{m})^2 \quad (2)$$

Величина

$$\hat{t} = \frac{\hat{m} - \bar{m}}{\hat{s}/\sqrt{n}} \quad (3)$$

где \bar{m} - математическое ожидание,

при этих условиях имеет t – распределение с числом степеней свободы $n-1$.

Отсюда можно записать выражение для доверительной вероятности:

$$P\{|\hat{t}| < \varepsilon\} = S_{n-1}(\varepsilon) - S_{n-1}(-\varepsilon) = P, \quad (4)$$

Где S – функция распределения величины \hat{t} . Для всякого заданного значения доверительной вероятности P можно определить соответствующее значение $\varepsilon = \varepsilon(P)$. Доверительный интервал при этом равен

$$\bar{I} = (\hat{m} - \delta, \hat{m} + \delta), \quad (5)$$

где

$$\delta = \frac{\varepsilon \hat{s}}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

В качестве примера рассмотрим операцию штамповки цилиндрического колпачка из стали 08ВГ. Исследуем влияние радиусов пуансона и матрицы на максимальные радиальные напряжения при вытяжке.

Расчет проведем по формуле полученной Е.А. Поповым [1].

$$\sigma_{max} = \sigma_s \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\delta}{2r_m + \delta} + \frac{\delta}{4r_p + 2\delta} + \frac{\mu * Q}{\pi * R * \delta} \right) e^{\mu \alpha}, \quad (7)$$

где σ_s – временное сопротивление; δ – толщина заготовки; r_m – радиус матрицы; r_p – радиус пуансона; R – радиус заготовки; r – радиус детали; Q – сила прижима; μ – коэффициент трения.

В соответствии с ГОСТ 19904-90, регламентирующим толщину листа металла принимаем $\delta = 1 \pm 0,09$ мм, при толщине листа 1мм и ширине проката свыше 1000 до 1500 мм включительно для листа нормальной точности. ГОСТ 9045-93 регламентирует временное сопротивление $\sigma_s = 250..390$ Н/мм² стали 08 ВГ. Принимаем, что коэффициент трения равен $\mu = (0.1..0.15)$; $r_m = 5$ мм и $r_p = 5$ мм

С помощью программного комплекса MathCad построим зависимости максимального напряжения от минимального коэффициента вытяжки, учитывая неоднородность заготовки как механическую (временное сопротивление), так и геометрическую (толщину). MathCad позволяет сгенерировать массивы случайных чисел, например: нормальное, равномерное, α - и β распределение. Мы остановимся на равномерном распределении для толщины и временного сопротивления (т.к. износ валков прокатного стана происходит равномерно, без каких либо всплесков), и на нормальном для коэффициента трения, т.к. существует некое количество и качество «оптимальной» смазки, превышение и избыток которой ведет к изменению коэффициента трения.

Рассмотрим влияние разброса значений толщины, коэффициента трения и временного сопротивления на разброс максимального напряжения в зависимости от количества проведенных расчетов.

Первоначально определим диапазон изменения максимального напряжения при выборке из 500 различных комбинаций факторов (применяется доверительный интервал в 95%). На рисунке 1 показаны результаты расчета.

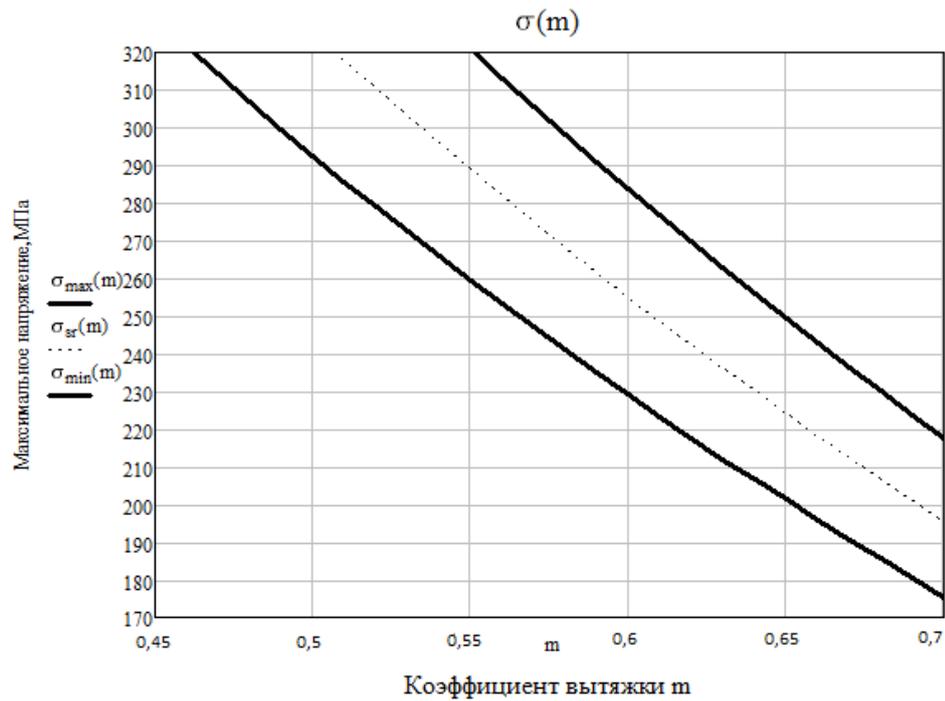


Рис.1. Зависимость диапазона максимальных растягивающих напряжений от коэффициента вытяжки при 500 опытах.

Как видно из графика, пределы минимального коэффициента составляют 0,47 и 0,56, а математическое ожидание составляет 0,51.

Далее провели расчеты этой же задачи при количестве «опытов» 400, 300, 200, 100, 50 и 15, соответственно. На рисунке 2 показана та же зависимость при количестве опытов 15.

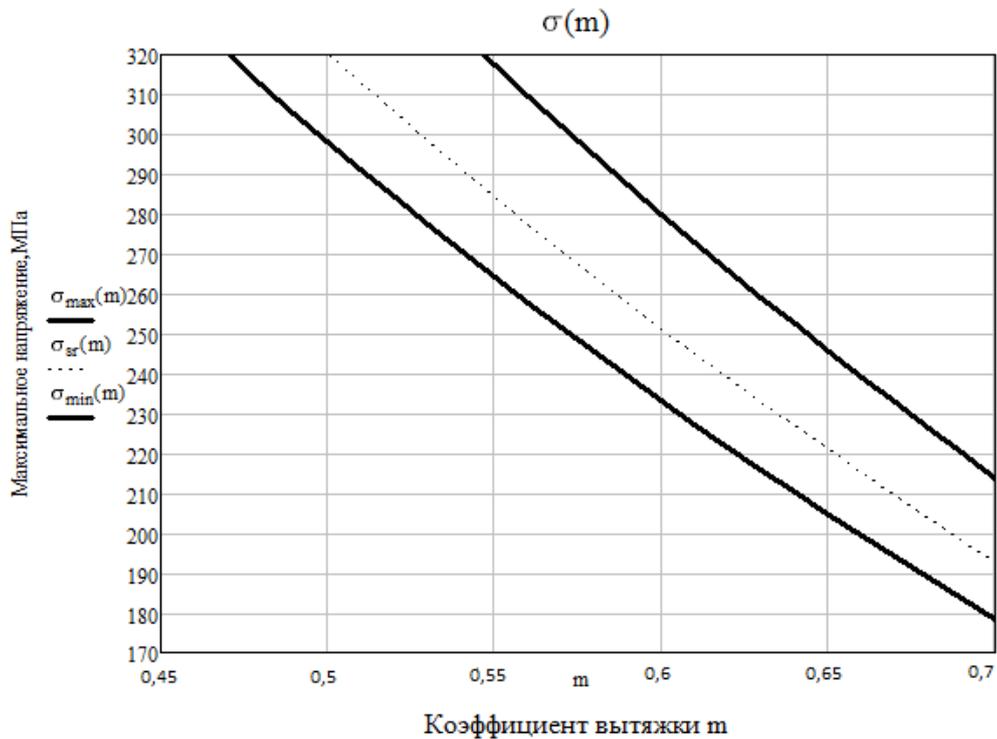


Рис.2. Зависимость диапазона максимальных растягивающих напряжений от коэффициента вытяжки при 15 опытах.

Из графика видно, что интервал минимального коэффициента вытяжки сузился и пределы составляют 0,48 и 0,54 соответственно, математическое ожидание в данном случае составляет 0,50. При этом математическое ожидание изменилось на 2%, а интервал изменился на 5%, что вполне допустимо в инженерных расчетах.

Для иллюстрации применим предложенную методику для исследования максимального утонения при вытяжке цилиндрического стаканчика.

Решение поставленной задачи осуществляли в программном комплексе AutoForm. Исходные данные приняли такие же, как и в первом случае. Полученные результаты обрабатывали в MathCad.

Расчеты вели в соответствии с матрицей планирования эксперимента.

Принимаем в качестве выходного параметра – изменение толщины стенки в опасном сечении, а в качестве факторов, влияющих на исследуемый процесс, принимаем радиусы пуансона и матрицы. Так же принимаем, что приведенный радиус матрицы и пуансона () изменяются в диапазоне от 3 до 7.

Матрицу планирования эксперимента вызываем из MathCad, используя функцию boxwilson (2) для двух факторов.

X:= boxwilson (2) =

№ опыта	X ₁	X ₂
1	-1	-1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	1.414	0
11	-1.414	0
12	0	1.414
13	0	-1.414

Приводим матрицу эксперимента к размерному виду.

$$Vals = \begin{pmatrix} r_m & r_1 & r_2 & r_{sr} & r_4 & r_5 \\ r_p & r_1 & r_2 & r_{sr} & r_4 & r_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_m & 2.172 & 3 & 5 & 7 & 7.828 \\ r_p & 2.172 & 3 & 5 & 7 & 7.828 \end{pmatrix}$$

D:= doelabel (X,Vals) =

№ опыта	r _m	r _p
1	3	3
2	3	7
3	7	3
4	7	7
5	5	5
6	5	5
7	5	5
8	5	5
9	5	5
10	7.828	0
11	2.172	0
12	0	7.828
13	0	2.172

По матрице **D** проводим расчеты, опыты 5 – 9 по методике изложенной выше. В результате получаем матрицу **Y** с результатами:

$$Y = \begin{pmatrix} 0.125 \\ 0.092 \\ 0.101 \\ 0.054 \\ 0.061 \\ 0.062 \\ 0.052 \\ 0.061 \\ 0.064 \\ 0.073 \\ 0.3 \\ 0.06 \\ 0.167 \end{pmatrix}^T$$

В результате получаем:

$$\text{Polyfitc}(X, Y, 2) = \begin{pmatrix} C_i & Error & Min & Max \\ C_0 & 0.06 & 0.021 & 0.01 & 0.11 \\ r_m & -0.048 & 0.017 & -0.087 & -0.008 \\ r_p & 0.06 & 0.021 & 0.01 & 0.11 \\ r_m r_p & 0.06 & 0.021 & 0.01 & 0.11 \\ r_m^2 & 0.06 & 0.021 & 0.01 & 0.11 \\ r_p^2 & 0.06 & 0.021 & 0.01 & 0.11 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} C_i & Error & Min & Max \\ C_0 & 0.060 & 0.021 & 0.010 & 0.010 \\ r_m & -0.048 & 0.017 & -0.087 & -0.008 \\ r_p & -0.029 & 0.017 & -0.068 & -0.008 \\ r_m r_p & -0.004 & 0.024 & -0.059 & 0.052 \\ r_m^2 & 0.049 & 0.018 & 0.007 & 0.091 \\ r_p^2 & 0.013 & 0.018 & -0.030 & 0.055 \end{pmatrix}$$

Анализ полученного результата показывает, что коэффициентами при $r_m r_p$, и r_p^2 можно пренебречь. В результате получаем уравнение регрессии, которое будет иметь вид:

$$Y = C_0 + C_1 * r_m + C_1 * r_p + C_1 * r_m^2$$

или

$$Y = 0.06 - 0.048 * r_m - 0.029 * r_p + 0.049 * r_m^2$$

Т.к. в расчетах использовалось значение толщины металла равное единице, то уравнение регрессии можно записать в виде:

$$Y = 0.06 - 0.048 * R_m - 0.029 * R_p + 0.049 * R_m^2,$$

где $R_m = r_m / \delta$ $R_p = r_p / \delta$

По результатам расчета в MathCad построена зависимость относительного утонения цилиндрической части заготовки от радиусов пуансона и матрицы, показанная на рисунке 3.

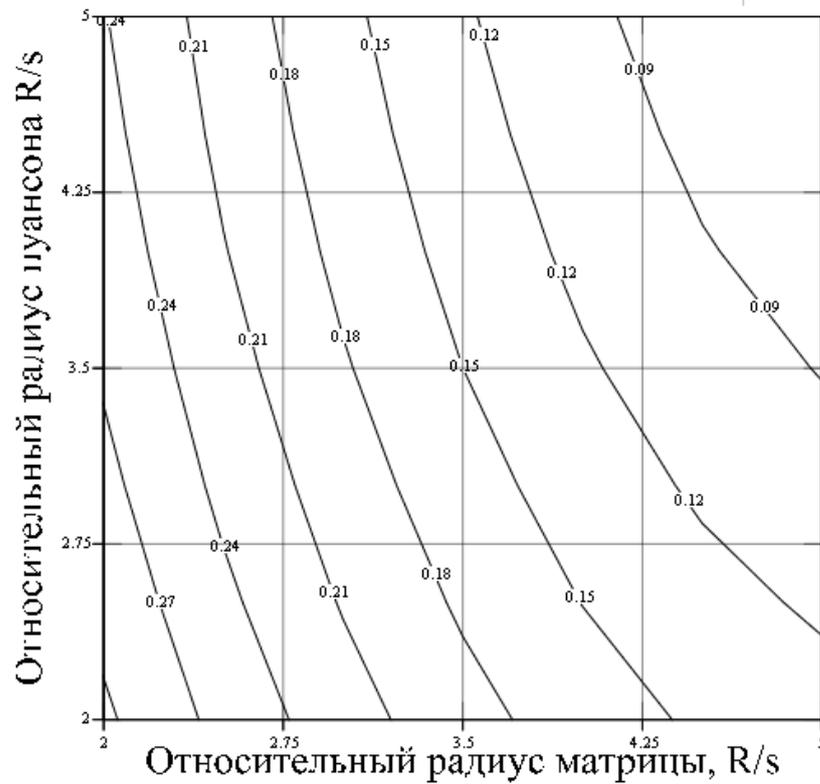


Рис.3. Зависимость относительного утонения цилиндрической части заготовки от радиусов пуансона и матрицы

Литература

1. Демин В.А. Проектирование процессов толстолистовой штамповки на основе прогнозирования технологических отказов. М: Машиностроение, 2002. 186 с
2. Демин В.А. Инновационные технологии производства заготовок обработкой давлением // Научные технологии в машиностроении. 2014. № 8 (38). с. 3-5.
3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки: учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1917.278 с.