

УДК 621.961.001

Ю. Т. Сычук, канд. физ.-мат наук Ю. И. Нагорный,
д-р техн. наук В. В. Чигиринский

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ ПУАНСОНАМИ С РИФЛЕННОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТЬЮ

Установлены оптимальные условия процесса пробивки горячекатаных малоуглеродистых листовых сталей рифлеными пуансонами. Указанная задача решалась нахождением условного минимума функции отклика для силовых затрат при ограничениях, налагаемых функцией отклика для коэффициентов геометрической точности деталей. Условный минимум находился графическим методом с помощью совмещенных двухмерных сечений.

Ключевые слова: пуансон, рифления, пробивка, съем, утяжка, поясok, скол.

Общая постановка задачи и ее связь с научно-практическими задачами

Качественные характеристики силовых деталей, изготавливаемых из горячекатаных малоуглеродистых сталей, в значительной степени определяются износостойкостью разделительных штампов. Одним из путей повышения стойкости штампов является применение пробивных пуансонов с макрогеометрией рабочей поверхности в виде совокупности продольных рифлений [1].

Обзор публикаций и анализ нерешенных вопросов

Как показал практический опыт применения указанных пробивных пуансонов, шаг рифлений t , первоначально принятый для характеристики рифленой рабочей поверхности [1], недостаточно полно отражает ее состояние. В связи с этим при дальнейших исследованиях для характеристики профиля продольных рифлений (рис. 1) был применен обобщенный показатель X_* [2], учитывающий соотношение участков выступов и впадин, а также угла и глубины впадин рифлений на боковой поверхности рабочей части пуансона

$$X_* = l - \left(\frac{p}{t} \right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где t — шаг рифлений;

p и 2α — глубина и угол впадин рифлений;

l — длина стороны впадин рифлений.

Ранее проведенными исследованиями было установлено влияние параметров процесса про-

бивки рифлеными пуансонами на силовые затраты и качество штампуемых деталей; получены математические модели, выражающие зависимость усилий пробивки P_n и съема P_c , а также коэффициентов геометрической точности профиля разделения K_y, K_n, K_c от исследуемых параметров процесса.

Эти модели были представлены в виде следующих полиномов второго порядка:

$$P_n = 25,5 + x_1 + 0,475x_2 + 0,8475x_3 + 0,05x_1x_2 + 0,05x_1x_3 - 0,05x_2x_3 + 4x_1^2 + 1,7x_2^2 + 0,75x_3^2; \quad (2)$$

$$P_c = 1,83 + 0,0775x_1 + 0,03375x_2 + 0,92375x_3 + 0,0050x_1x_2 - 0,0050x_1x_3 - 0,0250x_2x_3 + 0,30625x_1^2 + 0,13875x_2^2 - 0,23625x_3^2; \quad (3)$$

$$K_y = 0,0950 + 0,0069x_1 + 0,0151x_2 - 0,0015x_3 + 0,0005x_1x_2 - 0,0068x_1x_3 + 0,0037x_2x_3 + 0,0260x_1^2 - 0,0110x_2^2 - 0,0277x_3^2; \quad (4)$$

$$K_n = 0,2970 + 0,0104x_1 - 0,0062x_2 - 0,0171x_3 + 0,0015x_1x_2 - 0,0052x_1x_3 - 0,0065x_2x_3 + 0,0334x_1^2 + 0,0371x_2^2 - 0,0431x_3^2; \quad (5)$$

$$K_c = 0,6080 - 0,0215x_1 - 0,0087x_2 + 0,0218x_3 - 0,0017x_1x_2 - 0,0048x_1x_3 + 0,0028x_2x_3 - 0,0549x_1^2 - 0,0304x_2^2 - 0,0751x_3^2. \quad (6)$$

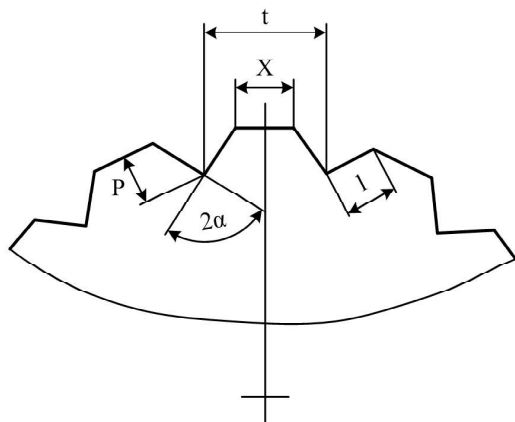


Рис. 1. Профиль рифлений на боковой поверхности рабочей части пробивного пуансона [2]

Постановка задачи исследования

Приведенные уравнения регрессии (2...6) можно использовать для установления условий процесса пробивки, обеспечивающих минимум силовых затрат, а следовательно, повышенную износостойкость пробивных пуансонов при заданном качестве штампуемых деталей. Указанный минимум силовых затрат обеспечивается сочетанием определенных значений исследуемых параметров процесса пробивки.

Методика исследований

В приведенных уравнениях регрессии (2...6) в качестве независимых переменных были приняты в кодированном виде следующие параметры: x_1 – обобщенный показатель характеристики профиля продольных рифлений X_* (рис. 1, ф-ла (1)) на боковой поверхности рабочей части пробивного пуансона [2]; x_2 – двусторонний технологический зазор z ; x_3 – intermetallicintermetallic толщина пробиваемой заготовки δ .

В качестве параметров оптимизации были приняты усилия пробивки P_n и съема P_c , а так-

же коэффициенты утяжки K_y , блестящего пояска K_n , скола K_c (т. е. высоты зон утяжки, блестящего пояска и скола, отнесенных к толщине пробиваемой заготовки [3]).

Независимые переменные в кодированном виде, выбранные интервалы и уровни варьирования переменных приведены в табл. 1.

Поставленная при исследованиях задача состояла в установлении оптимальных значений параметров процесса, обеспечивающих минимум силовых затрат и необходимое качество деталей при пробивке рифлеными пуансонами следующих горячекатаных малоуглеродистых листовых сталей: 08кп толщиной 2 мм по ГОСТ 1050-74, Ст3кп толщиной 3 мм по ГОСТ 380-71, Ст3 толщиной 4 мм по ГОСТ 380-71.

Решение данной компромиссной задачи заключалось в нахождении условного минимума функций отклика для усилий пробивки P_n при ограничениях, наложенных функциями откликов коэффициентов геометрической точности профиля разделения K_y, K_n, K_c . Для получения указанных функций отклика были проведены экспериментальные исследования по методике, изложенной в работах [4, 5].

Условный минимум функции P_n находили графическим способом при рассмотрении двухмерных сечений поверхностей отклика P_n , совмещенных с двухмерными сечениями поверхностей отклика K_y, K_n, K_c и выборе условных экстремумов по методике [4, 5]. При этом на математические модели коэффициентов утяжки K_y , блестящего пояска K_n , скола K_c налагались следующие ограничения: $K_y \leq 0,13$; $K_n \leq 0,35$; $K_c \leq 0,7$. Величины приведенных ограничений коэффициентов геометрической точности

Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования независимых переменных

Независимые переменные	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровни переменных		
			Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
X_* – обобщенный показатель, характеризующий профиль рифленой поверхности	x_1	0,25	0,75	1*	0,5
z – двусторонний технологический зазор, %	x_2	5	15	20	10
δ – толщина материала заготовки, мм	x_3	1	3	4	2

Примечание. Значение $X_* = 1$ соответствовало пуансону со шлифованной рабочей частью.

K_y, K_n, K_c определялись техническими требованиями, предъявляемыми к производственным деталям, изготавливаемым из листовых сталей вышеприведенных марок и толщин.

Для получения двумерных сечений поверхности отклика строились контурные кривые, образованные в результате пересечения поверхности отклика P_n плоскостью, параллельной плоскости системы координат $x_1 - x_2$ [4]. Построение контурных кривых осуществлялось при значениях $x_3 = -1; 0; +1$, что соответствовало толщинам материала заготовки $\delta = 2; 3; 4$ мм.

Результаты исследований

На рис. 2, 3, 4 приведены полученные двумерные сечения (контурные кривые) поверхностей отклика P_n, K_y, K_n, K_c при $x_3 = -1; 0; +1$ ($\delta = 2; 3; 4$ мм). Точкам пересечения кривых, представленных на рис. 2, 3, 4, отвечают значения параметров X_* и z , обеспечивающие минимум силовых затрат при заданных значениях K_y, K_n, K_c для пробивки листовых горячекатаных сталей исследо-

ванного диапазона толщин.

В результате анализа совмещенных двумерных сечений поверхностей откликов были установлены оптимальные значения обобщенного показателя X_* и двустороннего технологического зазора z , обеспечивающие минимальные силовые затраты при пробивке и требуемое качество деталей.

Проведенные в центре плана S^{P_n} дополнительные опыты показали, что экспериментальные значения параметров оптимизации хорошо совпадают со значениями, предсказанными уравнениями регрессии. Дальнейшие статистические исследования показали адекватность предложенной модели.

Установленные в результате решения поставленной задачи оптимальные значения обобщенного показателя X_* и двустороннего технологического зазора z составили:

- для материала заготовки толщиной $\delta = 2$ мм —
 $X_* = 0,72...0,75$, $z = (14,7...15,4)\% \delta$;
- для материала заготовки толщиной $\delta = 3$ мм —
 $X_* = 0,68...0,75$, $z = (14,8...15,4)\% \delta$;

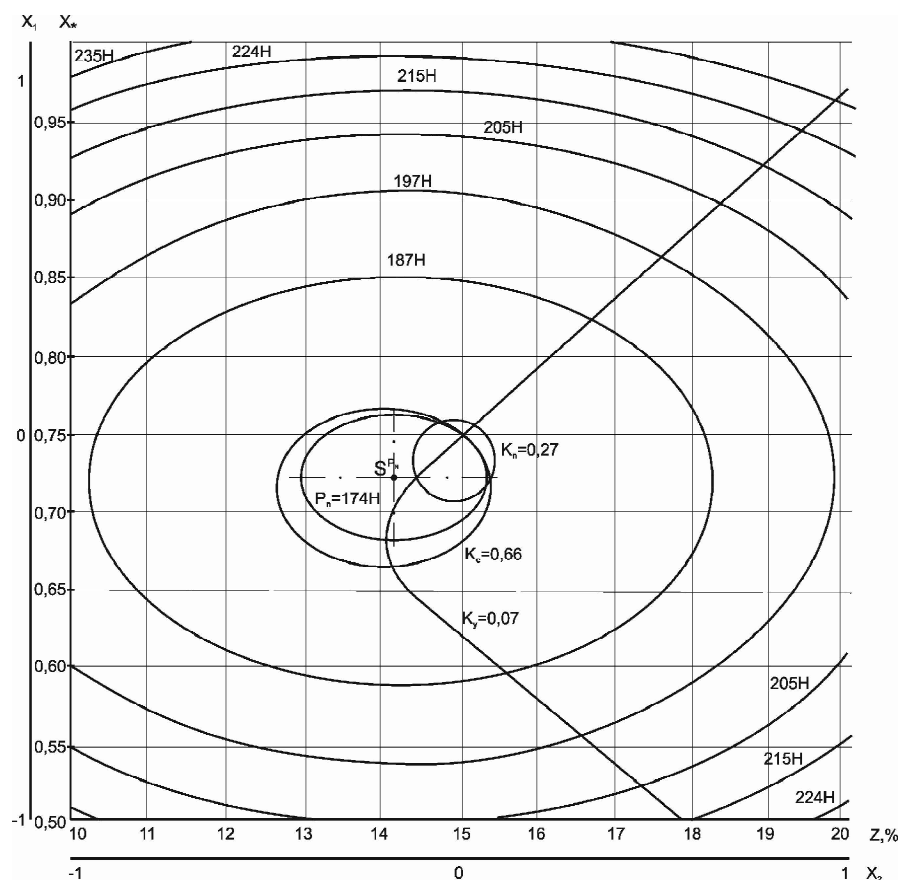


Рис. 2. Двумерные сечения поверхностей откликов P_n, K_y, K_n, K_c при $x_3 = -1$ (толщина заготовки $\delta = 2$ мм)

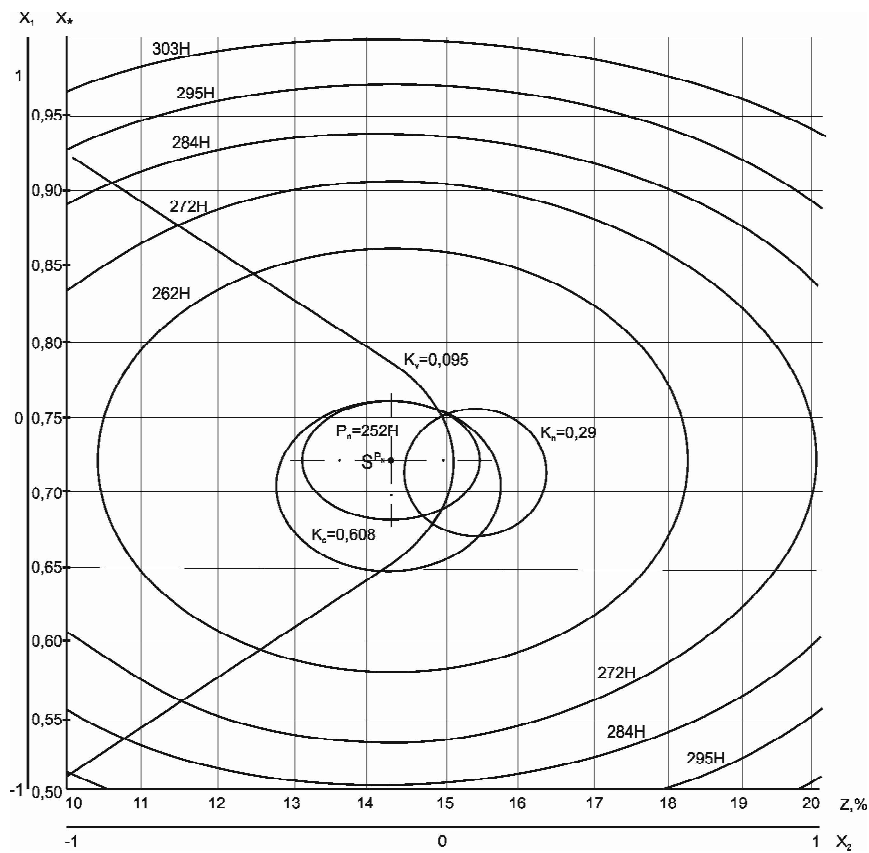


Рис. 3. Двухмерные сечения поверхностей откликов P_n, K_y, K_n, K_c при $x_3=0$ (толщина заготовки $\delta = 3$ мм)

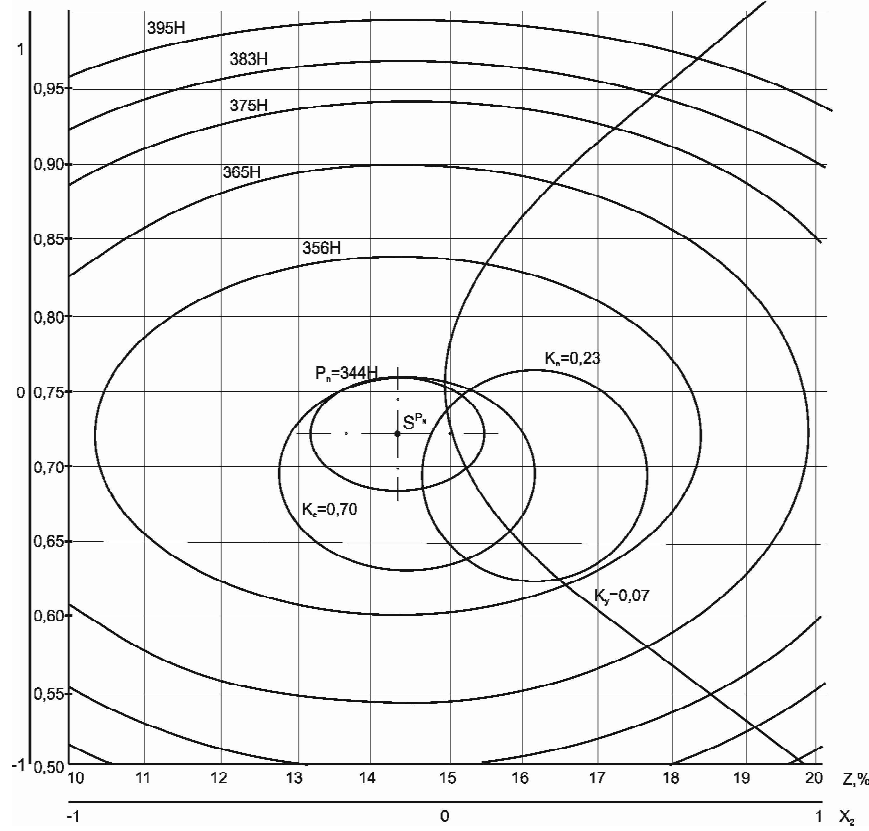


Рис. 4. Двухмерные сечения поверхностей откликов P_n, K_y, K_n, K_c при $x_3=-1$ (толщина заготовки $\delta = 4$ мм)

– для материала заготовки толщиной $\delta = 4$ мм –

$$X_* = 0,68 \dots 0,74, \quad z = (14,7 \dots 15,2)\% \delta.$$

Выводы

1. Оптимальное соотношение участков выступов и впадин рифленой поверхности пробивного пуансона, обеспечивающее минимум силовых затрат, характеризуется обобщенным показателем $X_* = 0,68 \dots 0,75$. Указанное значение X_* совместно с оптимальным двусторонним технологическим зазором $z = (14,8 \dots 15,4)\% \delta$ толщины заготовки определяют условный минимум функции P_n при ограничениях, наложенных функциями K_y, K_n, K_c для горячекатаных листовых сталей толщиной 24 мм.

2. Обобщенный показатель X_* , предложенный в работе [2], более полно характеризует состояние боковой поверхности рабочей части рифленого пуансона, чем шаг рифлений t , приведенный в работе [1].

3. Результаты теоретического определения параметров оптимизации подтвердили результаты ранее проведенного экспериментального исследования.

Список литературы

1. Влияние состояния поверхности пуансонов на силовой режим, износостойкость инструмента и качество деталей при пробивке листовой малоуглеродистой стали / [Юдович С. З., Сычук Ю. Т., Фурманов Ю. А., Глазков В. А.] // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1973. – № 4. – С. 17–19.
2. Нагорный Ю. И. Расчет работы разделения при пробивке рифленным пуансоном / Нагорный Ю. И., Сычук Ю. Т., Юдович С. З. // Изв. Вузов. Машиностроение. – М.: Изд.-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 1990. – № 2. – С. 91–94.
3. Михаленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов / Михаленко Ф. П.; [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента: учеб. пособие / Спиридонов А. А., Васильев Н. Г. – Свердловск: Изд. УПИ им. С. М. Кирова, 1975. – 150 с.
5. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов: учеб. пособие / Спиридонов А. А., Васильев Н. Г. – Свердловск: Изд. УПИ им. С. М. Кирова, 1975. – 140 с.

Поступила в редакцию 25.02.2011

Сычук Ю.Т., Нагорный Ю.И., Чигиринский В.В. Оптимізація процесу пробивки пуансонами з рифлену робочою частиною

Встановлено оптимальні умови процесу пробивки гарячекатаних малоуглецевих листових сталей рифленими пуансонами. Це завдання розв'язувалось знаходженням умовного мінімуму функцій відклику для силових витрат при обмеженнях, які накладались функцією відклику для коефіцієнтів геометричної точності деталей. Умовний мінімум знаходили графічним методом за допомогою суміщених двовірних перетинів.

Ключові слова: пуансон, рифлення, пробивка, знімання, утяжка, поясок, сколювання.

Sychuk Yu., Nagorniy Yu., Chigirinskiy V. Optimization of piercing fluted punches

The paper studies optimal values of the process of piercing of the hot rolled low-carbon steel sheets of the fluted punches. This problem was solved by finding of conditional minimum of function of response for force expenses with restrictions, when laying of function of response for coefficients of geometrical accuracy of details. The conditional minimum was found by graphic method with help of the combined two dimensional sections.

Key words: punch, flutes, piercing, skimming, bending, cutting sone, breaking.