
УДК 621.961.001

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

Национальный технический университет, г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ РИФЛЕННЫМИ ПУАНСОНАМИ НА СИЛОВЫЕ ЗАТРАТЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Исследовано влияние параметров процесса пробивки рифлеными пуансонами горячекатаных малоуглеродистых листовых сталей на силовой режим и качество штампованных деталей; методами множественного регрессионного анализа получены математические модели, выражающие зависимость силовых затрат и качества штампованных деталей от исследуемых параметров процесса.

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

Введение

Известно, что повышенная износостойкость пробивных пуансонов обеспечивается при минимальной нагрузке на их режущие кромки путем уменьшения размеров зоны пластической деформации, характеризующего, в свою очередь, снижением силовых затрат на разделение штампуемого материала [1–3]. Одним из способов уменьшения размеров зоны пластической деформации при пробивке является применение пуансонов с макрогеометрией рабочей части в виде продольных рифлений.

Постановка задачи исследований

Для создания условий управления процессом разделения при пробивке рифлеными пуансонами предусматривалось исследование влияния параметров процесса на силовые затраты и коэффициенты геометрической точности штампуемых деталей, определяющих размеры зоны пластической деформации; получение математических моделей, выражающих влияние параметров процесса пробивки рифлеными пуансонами на силовой режим и указанные коэффициенты геометрической точности штампуемых деталей.

Методика проведения исследований

Поставленная задача решалась методами множественного регрессионного анализа с несколькими независимыми переменными факторами процесса пробивки по методике, изложенной в работах [4–6].

В качестве независимых переменных при исследованиях были приняты следующие факторы процесса пробивки: X_* – обобщенный показатель характеристики профиля продольных рифлений (рис. 1) на боковой поверхности рабочей части пробивного пуансона; z – двусторонний технологический зазор; δ – толщина пробиваемой заготовки.

Обобщенный показатель X_* [7] учитывал соотношение участков выступов и впадин, а также угла и глубины впадин рифления на боковой поверхности рабочей части пуансона:

$$X_* = l - \left(\frac{p}{t} \right) \cdot \operatorname{tg} 2\alpha, \quad (1)$$

где t – шаг рифлений;

p и 2α – глубина и угол впадины рифления;

l – длина стороны впадины рифления.

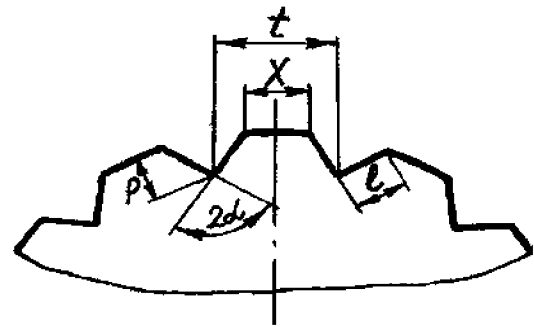


Рис. 1. Профиль рифлений на боковой поверхности рабочей части пробивного пуансона

Обобщенный показатель X_* был применен вместо ранее принятого для характеристики состояния рабочей поверхности пробивного пуансона шага рифлений t [1], не учитывавшего величину глубины впадины рифления и других характеристик профиля рифления.

В качестве параметров оптимизации при эксперименте были выбраны усилия пробивки P_n и съема P_c , а также коэффициенты утяжки K_y , блестящего пояска K_n , скола K_c (т. е. высота зон утяжки, блестящего пояска и скола, отнесенные к толщине исходной заготовки [3]).

Так как процесс пробивки с достаточной точностью моделировался полиномом второго порядка, для получения математической модели процесса был реализован некомпозиционный план Бенкина второго порядка для трех факторов [4, 6]. Используемый план Бенкина представляет собой определенные выборки строк из полного факторного эксперимента типа 3^k . Экономичность указанного некомпозиционного плана состоит в том, что каждый переменный фактор варьировался всего на трех уровнях (+1, 0, -1). Схема данного плана предусматривала проведение всего 15 опытов. Наряду с этим указанный план имеет высокую степень ортогональности и почти ротатабельный.

Основные уровни и интервалы варьирования факторов были выбраны по результатам предварительных экспериментов. Факторы в кодированном виде, выбранные интервалы варьирования и уровни факторов приведены в таблице 1.

Матрица некомпозиционного плана Бенкина второго порядка для трех факторов и условия эксперимента представлены таблицей 2.

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 пробивному пуансону со шлифованной рабочей частью.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	P_n , кН	P_c , кН	K_y	K_n	K_c
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	32,5	2,37	0,13	0,37	0,498
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	31,5	2,3	0,094	0,39	0,516
3	+1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0	30,3	2,23	0,125	0,342	0,533
4	+1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0	29,5	2,16	0,088	0,368	0,544
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,2	1,83	0,095	0,297	0,608
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	39,5	2,9	0,108	0,338	0,555
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	22,4	1,06	0,108	0,31	0,582
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	37,5	2,75	0,108	0,314	0,578
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	20,5	0,89	0,088	0,285	0,627
10	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,2	1,83	0,095	0,297	0,608
11	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1	36,5	2,68	0,088	0,318	0,594
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	19,8	0,85	0,065	0,315	0,62
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	35,6	2,62	0,052	0,346	0,602
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	19,0	0,8	0,04	0,314	0,646
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,2	1,83	0,095	0,297	0,608

В соответствии с условиями экспериментов (таблица 2) осуществлялась пробивка рифлеными пуансонами следующих горячекатаных малоуглеродистых листовых сталей: 08кп толщиной 2 мм по ГОСТ1050-74, Ст3кп толщиной 3 мм по ГОСТ380-71, Ст3 толщиной 4мм по ГОСТ380-71. Двусторонний технологический зазор при пробивке составлял 10; 15; 20 % толщины заготовки. При этом регистрировались величины усилия пробивки P_n и съема P_c , а также отбирались пробитые образцы для определения коэффициентов геометрической точности профиля разделения K_y , K_n , K_c . Во всех точках факторного пространства эксперимент на каждом уровне повторялся трижды.

По результатам экспериментов, поставленных согласно указанной матрице планирования (таблица 2), были получены математические модели, характеризующие зависимость P_n , P_c , K_y , K_n , K_c от исследуемых независимых переменных X_1 , X_2 , X_3 . Эти модели представлены в виде полинома второго порядка вида:

$$y = b_0X_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2, \quad (2)$$

где b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{11} , b_{22} , b_{33} коэффициенты уравнений регрессии; X_0 – фиктивная переменная, равная 1; X_1 , X_2 , X_3 – независимые переменные факторы в кодовом обозначении.

Результаты исследований

После математической обработки результатов опытов были получены следующие значения коэффициентов уравнения регрессии для усилия пробивки P_n : $b_0 = 25,2$; $b_1 = 1,0$; $b_2 = 0,475$; $b_3 = 8,475$; $b_{12} = 0,050$; $b_{13} = 0,050$; $b_{23} = -0,050$; $b_{11} = 4$; $b_{22} = 1,7$; $b_{33} = 0,75$.

Так как абсолютные величины коэффициентов регрессии параметра оптимизации P_n больше доверительного интервала, то все они являются статически значимыми.

Таким образом, уравнение регрессии для усилия пробивки P_n приняло вид:

$$P_n = 25,2 + X_1 + 0,475X_2 + 8,475X_3 + 0,05X_1X_2 + 0,05X_1X_3 - 0,05X_2X_3 + 4X_1^2 + 1,7X_2^2 + 0,75X_3^2, \quad (3)$$

Проверка полученной модели (3) по критерию Фишера показала ее адекватность при 5 %-м уровне значимости.

Аналогично были получены уравнения регрессии для усилия съема P_c , коэффициентов утяжки K_y , блестящего пояса K_n , скола K_c

$$P_c = 1,83 + 0,0775X_1 + 0,03375X_2 + 0,92375X_3 + 0,005X_1X_2 - 0,005X_1X_3 + 0,0025X_2X_3 + 0,30625X_1^2 + 0,13875X_2^2 - 0,23625X_3^2; \quad (4)$$

$$K_y = 0,0950 + 0,0069X_1 + 0,0151X_2 - 0,0015X_3 + 0,0005X_1X_2 - 0,0068X_1X_3 + 0,037X_2X_3 + 0,0260X_1^2 - 0,0110X_2^2 - 0,0277X_3^2; \quad (5)$$

$$K_n = 0,2970 + 0,0104X_1 + 0,00621X_2 - 0,0171X_3 + 0,0015X_1X_2 + 0,0052X_1X_3 - 0,0065X_2X_3 + 0,0334X_1^2 + 0,0371X_2^2 - 0,0431X_3^2; \quad (6)$$

$$K_c = 0,6080 - 0,0215X_1 - 0,0087X_2 + 0,0218X_3 - 0,0017X_1X_2 - 0,0048X_1X_3 + 0,0028X_2X_3 - 0,0549X_1^2 - 0,0304X_2^2 + 0,0751X_3^2. \quad (7)$$

Переход от кодированных значений независимых факторов (X_1 , X_2 , X_3) к натуральным (X_* , z , δ) осуществлялся по формулам:

$$X_* = \varepsilon_1X_1 + X_*z_0; \quad z = \varepsilon_2X_2 + z_0; \quad \delta = \varepsilon_3X_3 + \delta_0, \quad (8)$$

где ε_1 , ε_2 , ε_3 – интервал варьирования факторов;

X_*, z_0, δ_0 – натуральные значения основных уровней факторов.

На рис. 2–4 приведены зависимости параметров процесса пробивки P_n, P_c, K_y, K_n, K_c от обобщенного показателя X_* и двустороннего технологического зазора z для исследуемого диапазона толщин заготовки, полученные на основании математических моделей (3)–(7).

Как следует из графиков, приведенных на рис. 2–4, зависимости

$$P_n - X_*, P_c - X_*, K_y - X_*, \quad K_n - X_*, K_c - X_*$$

напоминают собой параболическую функцию с явно выраженными экстремумами.

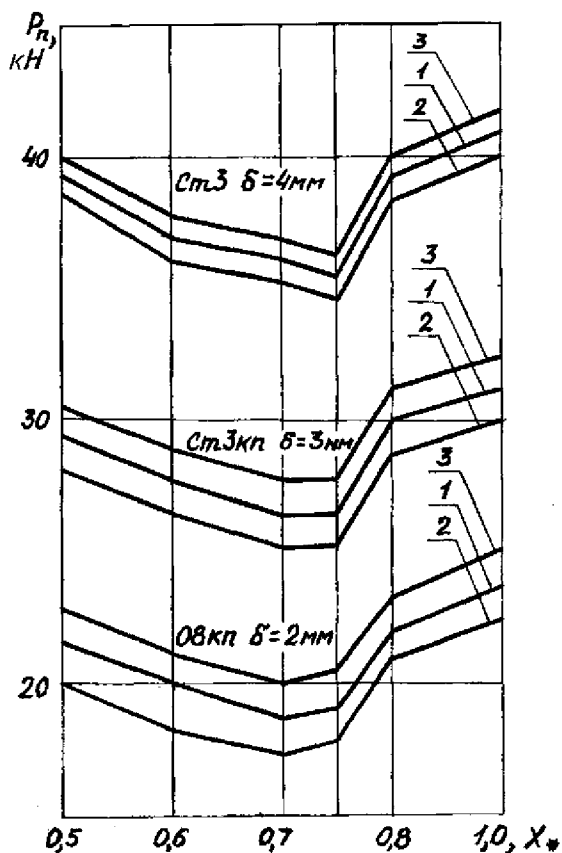


Рис. 2. Изменение усилий пробивки P_n горячекатаных листовых сталей толщиной 2, 3, 4 мм в зависимости от обобщенного показателя X_* при различных технологических зазорах z : 1, 2, 3 – $z = 10, 15, 20\%$

Выводы

1. На величину усилий пробивки P_n и съема P_c в порядке возрастания существенное влияние оказывают двусторонний технологический зазор z , обобщенный показатель X_* , толщина материала заготовки δ .

2. Наибольшее снижение усилия пробивки P_n и съема P_c от применения рифленых пуансонов наблю-

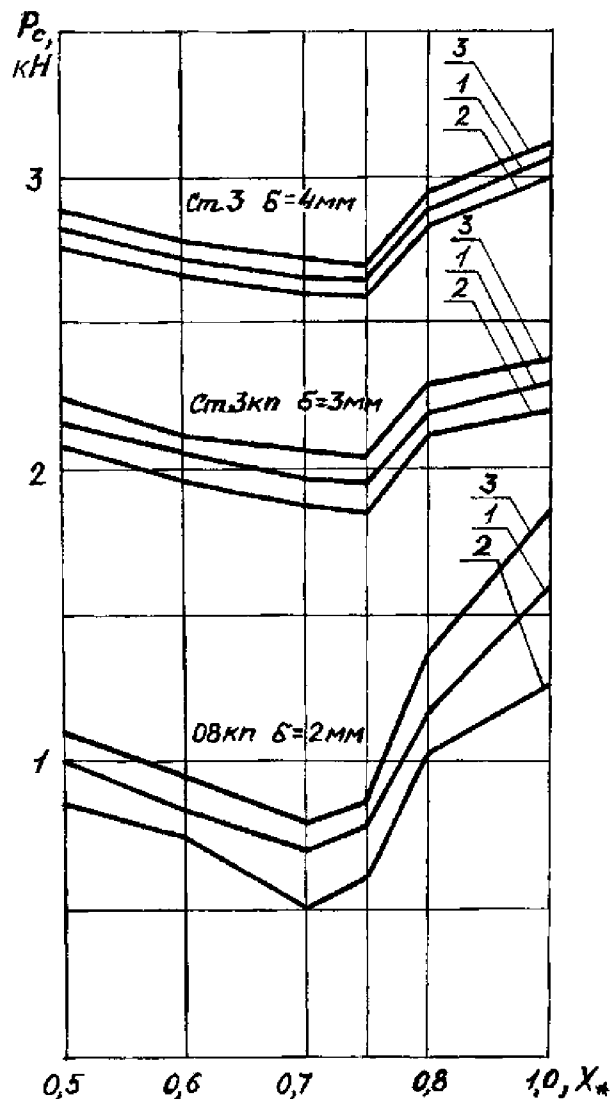


Рис. 3. Изменение усилий съема P_c горячекатаных листовых сталей толщиной 2, 3, 4 мм в зависимости от обобщенного показателя X_* при различных технологических зазорах z : 1, 2, 3 – $z = 10, 15, 20\%$

далось при пробивке стали толщиной 2 мм: усилие пробивки при этом снизилось до 20 %, усилие съема – в 2,5 раза.

3. С увеличением толщины материала заготовки влияние обобщенного показателя и двустороннего технологического зазора z на величину усилия пробивки P_n и съема P_c уменьшается.

4. С увеличением значения обобщенного показателя до 0,7...0,75 коэффициенты утяжки K_y и блестящего пояса K_n достигают минимальной величины для всего диапазона рассматриваемых толщин, а коэффициент скола K_c – максимальной величины.

5. На коэффициенты геометрической точности профиля разделения K_y, K_n, K_c большее влияние оказывает обобщенный показатель, чем величина двустороннего технологического зазора z .

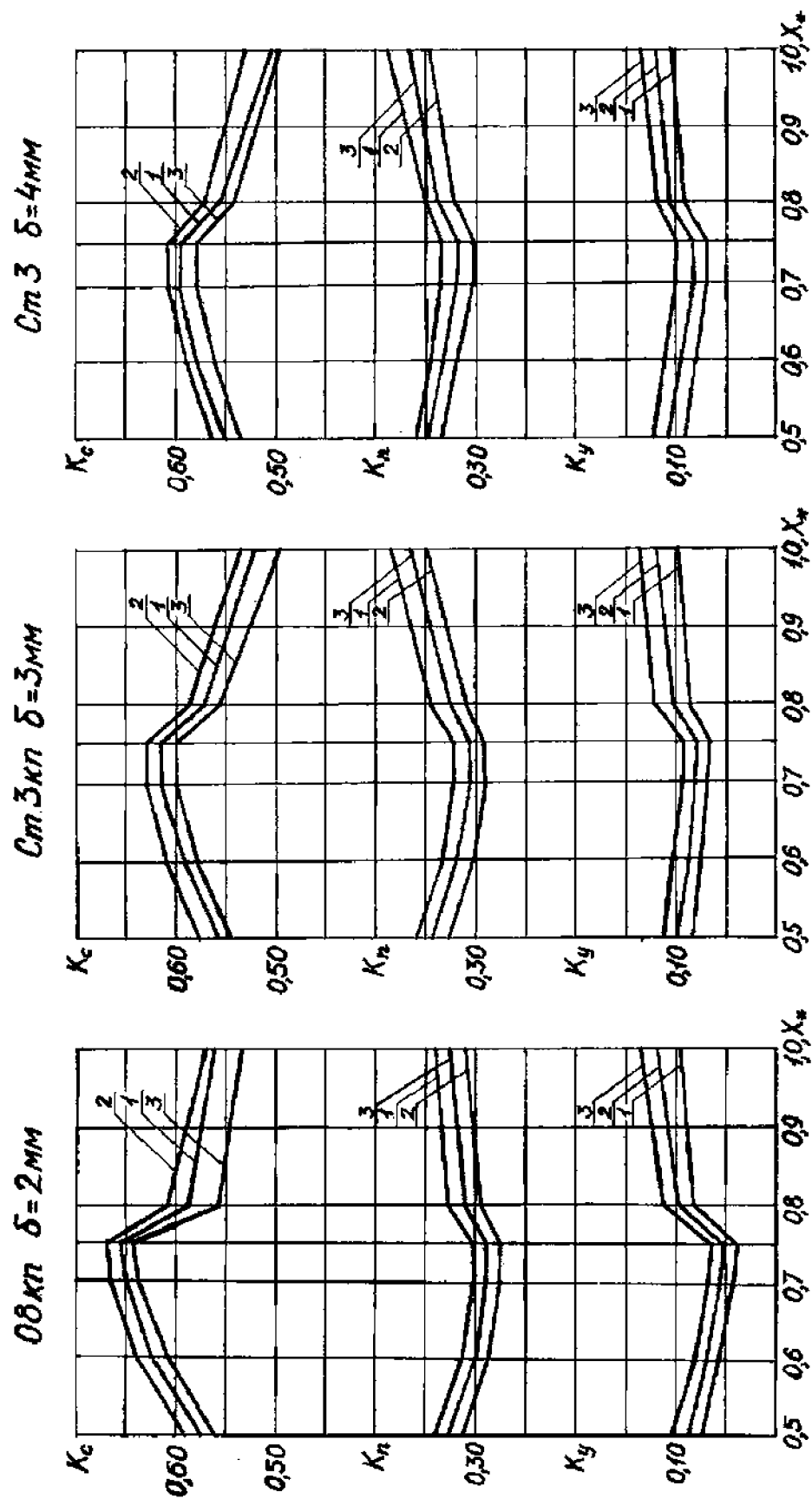


Рис. 4. Изменение коэффициента геометрической точности профиля разделения K_y , K_n , K_c при пробивке горячекатаных листовых сталей толщиной 2, 3, 4 мм в зависимости от обобщенного показателя X , при различных технологических зазорах z : 1, 2, 3 – $z = 10, 15, 20\%$

Список литературы

1. Влияние состояния поверхности пуансонов на силовой режим, износостойкость инструмента и качество деталей при пробивке листовой малоуглеродистой стали / [С. З. Юдович, Ю. Т. Сычук, Ю. А. Фурманов, В. А. Глазков] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – № 4. – С. 17–19.
2. Штамповочное резание по прямоугольному контуру посредством рифленых пуансонов с плоско-параллельными режущими кромками : пер. с болг. / [Цанко И. Цанков, Емил С. Костов] // Электропромышленность и приборостроение. – 1980. – Т. 5. – № 12. – С. 459–462.
3. Михаленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов / Ф. П. Михаленко – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. Box G. E. Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables / Box G. E., Behnken D.W. // *Tehnometrics*. – 1960. – P. 455–475.
5. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента : уч. пособие / А. А. Спиридонов, Н. Г. Васильев. – Свердловск : Изд-во УПИ им. С. М. Кирова, 1975. – 150 с.
6. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов : уч. пособие / А. А. Спиридонов, Н. Г. Васильев. – Свердловск : Изд-во УПИ им. С. М. Кирова, 1975. – 140 с.
7. Нагорный Ю. И. Расчет работы разделения при пробивке рифленым пуансоном / Ю. И. Нагорный, Ю. Т. Сычук, С. З. Юдович // *Изв. ВУЗов*. – 1990. – № 2. – С. 91–94.

Одержано 25.01.2011

Сычук Ю.Т., Нагорный Ю.И., Чигиринский В.В. Влияние параметров процесса пробивки рифлеными пуансонами на силовые затраты и коэффициенты геометрической точности деталей

Досліджено вплив параметрів процесу пробивки рифленими пуансонами гарячекатаних малоуглецевих листових сталей на силовий режим і якість штампованих деталей; методами множинного регресійного аналізу отримані математичні моделі, які показують залежність силових витрат і якості штампованих деталей від досліджених параметрів процесу.

Ключові слова: пуансон, рифлення, пробивка, зйом, утяжка, пояска, сколювання.

Sychuk Yu., Nagorniy Yu., Chigirinskiy V. Influence of fluted punches piercing process parameters on force consumption and details geometrical accuracy coefficients

The influence of fluted punches piercing process parameters of hot-rolled low-carbon sheet steels on force regime and stamp details quality was researched. The mathematical models which express dependencies between force consumption, stamp details quality and investigated process parameters were received using multiple regression analysis method.

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