

вихревых токов. Поэтому для создания наиболее эффективных преобразователей, регистрирующих поля дефектов с возможной их количественной оценкой, необходимо наиболее полно знать закономерности формирования потока, создающего эти поля.

Перспектива дальнейших исследований. При проведении дальнейших работ планируется провести исследования и анализ распределения плотности вихревых токов вблизи поверхностной трещины.

Список литературы: 1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика [Текст]: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, Ковалев А. В. и др.; под ред. В.В. Клюева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с. 2. Ландау Л.Д. Теория поля. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издание 7-е, исправленное. – М.: Наука. – 1988. – 512с. 3. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы / И.Е. Иродов. – 7-е изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний. – 2009. – 319 с. 4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с. 5. Федосенко Ю.К. Вопросы теории вихретоковой дефектоскопии накладными преобразователями. Строгое математическое решение двумерных задач. / Ю.К. Федосенко // Дефектоскопия. – 1982. – No2. – с.1-9. 6. Хомяк Ю.В. Вихретоковый дефектоскоп с компенсацией влияния состояния поверхности ферромагнитных металлоизделий [Рукопись]: дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Ю.В. Хомяк ; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. – Харьков, 2013. – 168 с. 7. Соболев В.С. Накладные и экранные датчики: для контроля методом вихревых токов / Акад.наук.Ин-т автоматизации и электротехники. / В.С. Соболев, Ю.М. Шкарлет. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.

Bibliography (transliterated): 1. Klyuev V.V. Nerazrushayuschiy kontrol i diagnostika [Tekst]: spravochnik V.V. Klyuev, F.R. Sosnin, Kovalev A. V. i dr.; Pod red. V.V. Klyueva. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moscow: Mashinostroenie, 2005. – 656 p. 2. Landau L.D. Teoriya polya. L.D. Landau, E.M. Lifshits. Izdanie 7-e, ispravlennoe. – Moscow: Nauka. – 1988. – 512 p. 3. Irodov I.E. Elektromagnetizm. Osnovnyie zakonyi I.E. Irodov. – 7-e izd. – Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy. – 2009. – 319 p. 4. Bessonov L.A. Teoreticheskie osnovyi elektrotehniki. Elektromagnitnoe pole: Uchebnik dlya elektrotehn., energ., priborostroit. spets. vuzov. – 8-e izd., pererab. i dop. – Moscow: Vyssh. shk., 1986. – 263 p. 5. Fedosenko Yu.K. Voprosyi teorii vihretokovoy defektoskopii nakladnyimi preobrazovatelyami. Strogoe matematicheskoe reshenie dvumernyih zadach. Yu. K. Fedosenko Defektoskopiya. – 1982. – No2. – P.1-9. 6. Homyak Yu.V. Vihretokovyyi defektoskop s kompensatsiey vliyaniya sostoyaniya poverhnosti ferromagnitnyih metalloizdeliy [Rukopis]: dis. ... kand. tehn. nauk : 05.11.13 Yu.V. Homyak ; Kharkovskiy politehnicheskiiy in-t, nats. tehn. un-t. – Kharkov, 2013. – 168 p. 7. Sobolev V.S. Nakladnyie i ekrannyie datchiki: dlya kontrolya metodom vihrevyih tokov Akad.nauk.In-t avtomatiki i elektrometrii. V.S. Sobolev, Yu.M. Shkarlet. – Novosibirsk: Nauka, 1967. – 144 p.

Поступила (received) 25.10.2014

УДК 621.7

В. Л. ХОРОЛЬСКИЙ, ассистент, КрНУ им. М. Остроградского,
Кременчуг

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАТЯГА ПРИ БАНДАЖИРОВАНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ОТРЕЗНЫХ МАТРИЦ

В работе определены величины натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц, что позволяет исключить появление растягивающие тангенциальные напряжений в процессе отрезки. Предложена методика расчёта необходимой величины натяга по величине максимального

© В. Л. Хорольский, 2014

радиального перемещения точек срединной поверхности матрицы, вызываемого системой сил в процессе отрезки. Подсчитаны необходимые величины натягов при запрессовке твердосплавных вырубных матриц в стальные обоймы. Полученные результаты показали, что можно применять посадки с небольшим натягом. Запрессовку можно производить без предварительного подогрева обоймы. Рекомендуется посадочную (контактную) поверхность делать конусной с односторонним углом $1^\circ \dots 1^\circ 30'$. **Ключевые слова:** бандажирование, твердосплавные материалы, напряжения.

Введение. Ускорение роста производительности обработки металлов давлением на предприятии возможно за счёт механической обработки кромки в специальных штампах на оборудовании для листовой штамповки – прессах. Высокая производительность, отработанные технологии позволяют получать высокое качество при невысокой квалификации персонала. Но применение листоштамповочных операций даёт положительный экономический эффект только при значительной стойкости штампового инструмента; при низкой его стойкости неизбежны частые смены рабочих деталей, переналадки штампов, простои оборудования, достигающие 50% времени. Одним из способов значительного повышения стойкости штампов является оснащение их твердыми сплавами. Но высокая износостойкость твердых сплавов ещё не гарантирует длительной работы их в штампах вследствие выкрашивания режущих кромок, поломки, появления трещин и т.п.

Для правильного проектирования штамповой оснастки необходимо иметь ясное представление о механике процесса отрезки и нагрузках, действующих на рабочий инструмент, а также о напряжениях, возникающих в нем при отрезке. Необходимо учитывать специфические требования к конструкции штампа, вытекающие из особенности свойств твердых сплавов.

Для штампов, рабочие детали которых изготовлены из твердых сплавов, необходимым требованием является почти полное отсутствие в них растягивающих напряжений. Это достигается повышением жесткости опорных плит [1] и бандажированием твердосплавных деталей.

В связи с этим работа по определению величины натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц является актуальной.

Анализ предыдущих исследований. Вопросам исследования твердосплавных штампов, конструктивного решения отдельных его деталей уделено большое внимание в работах [2–4] и др.

Исследования, проведенные Н.К. Фотеевым [2] доказывают, что характер изменения усилий отрезки в зависимости от зазора между режущими элементами штампа при штамповке материалов с использованием твердосплавных штампов аналогичен таковому при штамповке этих материалов стальными штампами. Но усилие вырезки твердосплавными штампами ниже усилия отрезки при использовании стальных штампов. Это обуславливается различием коэффициентов трения скольжения стали по стали

и твердого сплава по стали.

При отрезке на матрицу действует система сил, вызывающая в ней тангенциальные растягивающие и радиальные сжимающие напряжения. Появление растягивающих напряжений особенно опасно для твердосплавных матриц, так как твердые сплавы плохо работают на растяжение.

Для предупреждения появления растягивающих напряжений твердосплавные матрицы запрессовывают в стальные обоймы. Метод предварительно напряженных цилиндрических конструкций теоретически хорошо разработан и применяется для повышения прочности и уменьшения веса труб, орудийных стволов, сосудов высокого давления, контейнеров для прессования и т.п. Применительно к матрицам штампов для объёмной штамповки расчётная методика разработана в работах [3], [4], [5] и др.

Исходным параметром в этих расчётах является величина рабочего давления на внутреннюю стенку матрицы. По аналогии при расчёте величины натяга при бандажировании вырубных матриц последняя принимается как толстостенная обечайка, находящаяся под действием равномерно распределенного внутреннего давления, состоящего из двух слагаемых: распирающего усилия при отрезке и давления застрявшего в матрице отрезанного металла на её стенки [6].

Силы, действующие на торцовых поверхностях матрицы, в расчёт не принимаются.

По данным технологических рекомендаций, в т.ч. [7], величина натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц рекомендуется настолько большой, что запрессовка может производиться только после предварительного нагрева обоймы до температуры 370°...400°С. Это вызывает большие затруднения.

Цель настоящей работы – определение величины натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц.

Материал и результаты исследований. В действительности на отрезную матрицу действует система сил, представленная на рис. 1, а.

Сжимающие тангенциальные напряжения, вызванные запрессовкой, должны быть равны или больше растягивающих напряжений, вызванных системой сил при отрезке, т.е. внутренняя поверхность матрицы не должна получать положительных радиальных перемещений – положительному значению U соответствует перемещение точек на большее расстояние от центра матрицы.

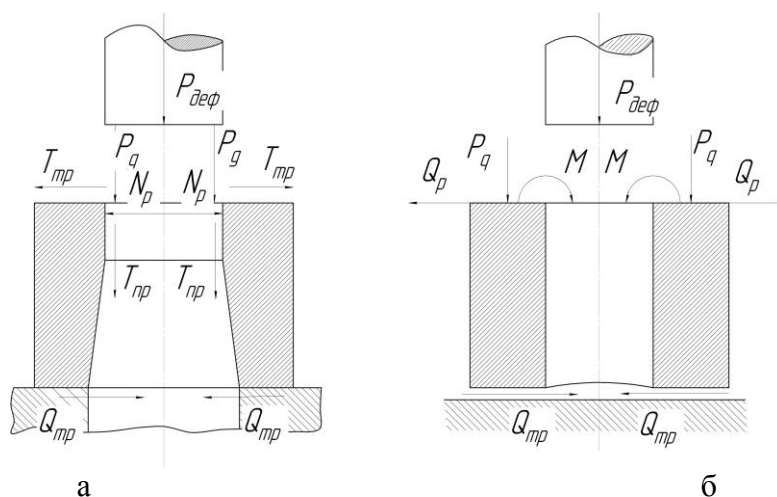


Рис. 1 – Схемы нагрузок, действующих на твердосплавную матрицу при отрезке:
а – действительная система сил; б – расчётная схема

Чтобы точки внутренней поверхности матрицы не получали радиального положительного перемещения в процессе отрезки, необходимо при запрессовке матрицы в обойму обеспечить величину контактного давления P_K , равную [8].

$$P_K = -U_b E_1 \frac{1 - K_1^2}{2r_1}, \quad (1)$$

где U_b – радиальное перемещение точки на внутренней поверхности матрицы;

E_1 – модуль упругости материала матрицы;

K – отношение предела прочности при растяжении к пределу прочности при сжатии.

Величина натяга для такого контактного давления определится из выражения:

$$\delta = U_b \frac{1 - K_1^2}{2K_1} \left[\left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} - \mu_1 \right) + \frac{E_1}{E_1} \left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu_2 \right) \right], \quad (2)$$

где μ – коэффициент жесткости.

Для определения радиальных перемещений, вызываемых действием системы сил при отрезке, в первом приближении можно воспользоваться методикой расчёта на прочность цилиндрических оболочек [9].

Дифференциальное уравнение радиального прогиба оболочки под действием осесимметричных нагрузок и нагрева будет иметь следующий вид:

$$D \frac{d^4 U}{dx^4} + \frac{E_1 S}{a^2} = g + \frac{E_1 S}{a} \alpha T_0 - D(1 + \mu_1) \frac{d^2}{dx^2} \left(\alpha \frac{\Delta T}{S} \right) \quad (3)$$

где g – распределенная нагрузка, приложенная к срединной поверхности оболочки;

D – цилиндрическая жесткость:

$$D = \frac{E_1 S^2}{12(1 - \mu_1^2)} \quad (4)$$

При расчёте следует различать данные и короткие цилиндрические оболочки. Основное отличие длинных оболочек состоит в том, что можно пренебречь влиянием нагрузок, приложенных к одному краю, на напряженное состояние возле другого края. Оболочку можно считать длинной, если параметр оболочки $\beta l \geq 3$,

$$\beta = \frac{\sqrt{3(1 - \mu_1^2)}}{\sqrt{aS}} \quad (5)$$

Учитывая, что размеры твердосплавных отрезных матриц [7] имеют параметр $\beta l \geq 3$, при расчёте следует учитывать условия закрепления по обоим краям оболочки-матрицы.

При отсутствии температурных напряжений ($T_0 = 0$; $\Delta T = 0$) решение уравнения (3) для короткой оболочки может быть представлено в следующей форме:

$$U_x = U_{(0)} K_0(\beta x) + \frac{1}{\beta} \frac{dU}{dx}(0) K_1(\beta x) + \frac{1}{\beta^2} \frac{d^2U}{dx^2}(0) K_2(\beta x) + \frac{1}{\beta^3} \frac{d^3U}{dx^3}(0) K_3(\beta x) + \frac{1}{\beta^3 D_0} \int_0^x K_3[\beta(x - x_1)] f(x_1) dx_1, \quad (6)$$

где $K_0(\beta x)$, $K_1(\beta x)$, $K_2(\beta x)$, $K_3(\beta x)$ – функции А.Н. Крылова, определяемые равенствами, которые можно брать из таблиц [9].

Функция $f(x)$ представляет собой правую часть уравнения (3).

Для возможности использования основных случаев расчёта коротких цилиндрических оболочек реальную систему сил, действующую на матрицу при отрезке, можно, без большой погрешности, заменить условной расчётной схемой, представленной на рис. 1, б.

Распирающую силу N_p и силу T_{np} заменим нагрузкой Q_p равномерно распределенной по периметру срединной окружности на верхнем торце матрицы. Приложенные по режущей кромке матрицы усилие деформации P_g и усилие проталкивания застрявшего отрезанного металла T_p заменим изгибающим моментом M и нагрузкой P_q равномерно распределенными по периметру срединной окружности. На нижнем торце матрицы действует равномерно распределенная сила трения Q_{np} .

К условиям работы твердосплавной отрезной матрицы наиболее подходит схема, при которой нижний торец оболочки закреплен по скользящей заделке, а верхний – свободный.

Используя принцип независимости действия сил, расчётная схема разобьётся на четыре простых случая, представленных на рис. 2.

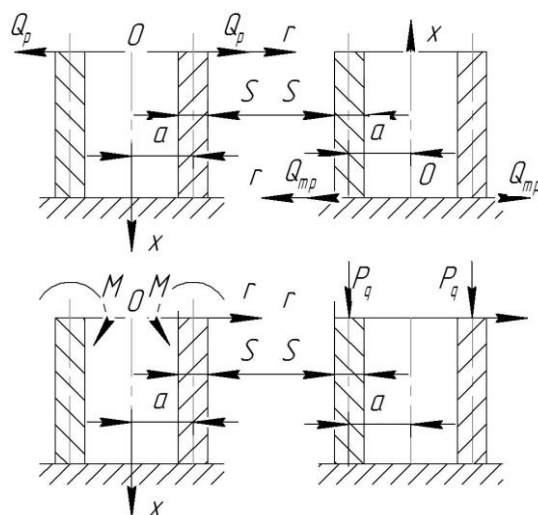


Рис. 2 – Схемы для расчёта коротких цилиндрических оболочек, необходимые для определения перемещений точек матрицы в процессе отрезки

Тогда радиальное перемещение точек срединной поверхности матрицы будет

$$U_{cp} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4, \quad (7)$$

где U_1 – радиальное перемещение точек срединной поверхности матрицы, вызываемое действием нагрузки Q ;

$$U_1 = \frac{Q_p}{D\beta^3} [\varphi_1 K_0(\beta x) - \psi_1 K_1(\beta x) + K_3(\beta x)] \quad (8)$$

U_2 – радиальное перемещение точек срединной поверхности матрицы, вызываемое действием нагрузки:

$$U_2 = \frac{Q_{mp}}{D\beta^3} [\varphi_2 K_0(\beta x) - \psi_2 K_1(\beta x) + K_3(\beta x)] \quad (9)$$

U_3 – радиальное перемещение точек срединной поверхности матрицы, вызываемое действием изгибающего момента M

$$U_3 = -\frac{M}{D\beta^3} [\varphi_3 K_0(\beta x) - \psi_{31} K_1(\beta x) + K_2(\beta x)] \quad (10)$$

U_4 – радиальное перемещение точек срединной поверхности матрицы, вызываемое действием нагрузки

$$U_4 = \mu_1 \frac{2P_q \cdot a^2}{E_1(r_2^2 - r_1^2)} \quad (11)$$

Коэффициенты $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и ψ_1, ψ_2, ψ_3 определяются по формулам:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \frac{K_0^2 + 4K_2^2}{4(K_0K_1 + 4K_2K_3)}; \psi_1 = \frac{K_1K_2 - K_0K_3}{K_0K_1 + 4K_2K_3}; \\ \varphi_2 = \frac{K_0^2 + 4K_1K_3}{4(K_0K_1 + 4K_2K_3)}; \psi_2 = \frac{K_1^2 - K_0K_2}{K_0K_1 + 4K_2K_3}; \\ \varphi_3 = \frac{K_1K_2 - K_0K_3}{K_0K_1 + 4K_2K_3}; \psi_3 = \frac{K_1^2 + 4K_3^2}{K_0K_1 + 4K_2K_3} \end{cases} \quad (12)$$

В выражениях (12) значения функций Крылова при $x=l$ обозначены соответственно через K_0, K_1, K_2 и K_3

Значения сил и момента, приложенные на единицу длины окружности срединной поверхности матрицы; в выражениях (8), (9), (10) и (11) могут быть найдены из следующих соотношений:

$$\begin{cases} P_q = \frac{P_{def}}{2\pi a}; \\ Q_p = \lambda P_q; \\ Q_{mp} = f P_q; \\ M = P_q \frac{S}{2} \end{cases} \quad (13)$$

где λ – коэффициент пропорциональности между усилием деформации и суммой сил N_p и T_{mp}

По данным Б.П. Звороно [10] для матриц с цилиндрическим пояском $\lambda = 0,3 \dots 0,4$; f – коэффициент трения матрицы по подкладке (плите).

По известным радиальным перемещениям точек срединной поверхности матрицы необходимо перейти к радиальным перемещениям точек внутренней поверхности. Используя зависимость между радиальным перемещением и внутренним давлением толстостенного цилиндра [8], по найденному по формуле (7) радиальному перемещению можно определить внутреннее давление, вызывающее данное радиальное перемещение. По найденному давлению легко определить перемещение как внутренней, так и наружной поверхности.

Зависимость для определения радиального перемещения внутренней поверхности матрицы по известному перемещению её срединной поверхности будет иметь вид:

$$U_b = 2U_{cp} \frac{1+K_1}{K_1} \frac{\left(1-K_1^2\right)\left(\frac{1+K_1^2}{1-K_1^2}+\mu_1\right)}{(1-\mu_1)(1+K_1)^2+4(1+\mu_1)} \quad (14)$$

Подставляя уравнение (14) в (2), окончательно получаем выражение для определения необходимой величины натяга при бандажировании отрезных матриц:

$$\delta = 2U_{cp} \left(\frac{1-K_1^2}{K_1}\right)^2 \frac{\left(1+K_1\right)\left(\frac{1+K_1^2}{1-K_1^2}+\mu_1\right)}{(1-\mu_1)(1+K_1)^2+4(1+\mu_1)} \times \left[\left(\frac{1+K_1^2}{1-K_1^2}-\mu_1\right)+\frac{E_1}{E_2}\left(\frac{1+K_1^2}{1-K_1^2}+\mu_1\right)\right] \quad (15)$$

По вышеизложенной методике были подсчитаны необходимые величины натягов при запрессовке твердосплавных вырубных матриц в стальные обоймы. Размеры матриц и обойм принимались по рекомендациям [7] в зависимости от толщины вырезаемого металла. Результаты расчётов приведены в табл.

При расчётах принимались: материал матрицы – ВК-20, модуль упругости – $E = 5 \cdot 10^6$ МПа [7], коэффициент Пуассона – $\mu_l = 0,22$ [11]. Соппротивление отрезаемого металла срезу $\sigma_{\phi} = 600$ МПа.

Результаты подсчётов увеличены на поправочный коэффициент $m = 1,3$, величина которого найдена экспериментально.

Таблица. Результаты расчета величин натягов при бандажировании твердосплавных матриц

No	Толщина металла, мм	Усилие деформации, кН	Размеры матрицы, мм			K_1	K_2	U_{cp} , мк	Расчетная величина натяга δ , мк	Величина натяга по РТМ, мк
			d_1	d_2	l					
1	3	280	38,5	65	18	0,6	0,425	6,97	52	130...160
2	5	470	38,5	70	20	0,65	0,375	9,5	58	130...160

Выводы. Таким образом, в результате проведенных исследований определены величины натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц, что позволяет исключить появление растягивающие тангенциальные напряжений в процессе отрезки. Предложена методика расчёта необходимой величины натяга по величине максимального радиального перемещения точек срединной поверхности матрицы, вызываемого системой сил в процессе отрезки.

Полученные результаты показали, что необходимая для безопасной работы твердосплавных отрезных матриц величина натяга при запрессовке их в стальные обоймы меньше рекомендуемой РТМ 112-63 [7]. Можно применять посадки с небольшим натягом. Запрессовку можно производить без предварительного подогрева обоймы.

Так как при запрессовке твердосплавных матриц по цилиндрической контактной поверхности происходит срезание неровностей и гребешков или даже снятие стружки, рекомендуется посадочную (контактную) поверхность делать конусной с односторонним углом $1^\circ \dots 1^\circ 30'$. Преимущества матриц с конической посадочной поверхностью подтверждаются опытом применения таких штампов на машиностроительных предприятиях.

Сделанные выводы и рекомендации относятся только к отрезным твердосплавным матрицам при толщине отрезаемого материала до 25 мм. В процессе одновременной отрезки матрица испытывает только напряжения сжатия. Поэтому применение твердых сплавов для матриц в этом случае не имеет практических ограничений.

Список литературы: 1. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением / Л.Г. Степанский. – М.: Машиностроение, 1979. – 213 с. 2. Фотеев Н.К. Высокостойкие штампы / Н.К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1965. – 259 с. 3. Трахтенберг Б.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения / Б.Ф. Трахтенберг. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1964. – 280 с. 4. Schaudlich S. Feztigundstechnik und Betzieb, N№ 9, 11, 12 1959. 5. Мишунин В.А. Теория и практика процесса холодного выдавливания / Мишунин В.А. – М.: Машиностроение, 1993. – 320 с. 6. Хмара С.М. О причинах выкрашивания твердосплавных вырезных матриц / С.М. Хмара, В.П. Смолянинов, А.А. Коломойцев // Кузнечно-штамповочное производство. – № 8, 1965. – С. 21-23. 7. ТМ 112-63. Штампы для холодной штамповки, оснащенные твердыми сплавами. Расчеты и конструирование. – Изд-во стандартов, 1964. 8. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман и др. – М.: Машгиз, 1959. – 1118 с. 9. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие. 2-е изд. / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1966. – 616 с. 10. Звороно Б.П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки / Б.П. Звороно. – М.: Машгиз, 1949. – 196 с. 11. Третьяков В.И. Металлокерамические твердые сплавы: физико-химические основы производства, свойства и области применения / В.И. Третьяков. – М.: Металлургиздат, 1962. – 592 с.

Bibliography (transliterated): 1. Stepanskiy L.G. *Raschetyi protsessov obrabotki metallov davleniem*. Moscow: Mashinostroenie, 1979, 213. Print. 2. Foteev N.K. *Vyisokostoykie shtampyi*. Moscow: Mashinostroenie, 1965, 259. Print. 3. Trahtenberg B.F. *Stoykost shtampov i puti ee povyisheniya*. Kuybyishev: Kn. izd-vo, 1964, 280. Print. 4. Schaudlich S. *Feztigundstechnik und Betzieb*, N№ 9, 11, 12 1959. 5. Mishunin V.A. *Teoriya i praktika protsessa holodnogo vyidavlivaniya*. – Moscow: Mashinostroenie, 1993, 320. Print. 6. Hmara S.M., Smolyaninov V.P. and Kolomoytsev A.A. *O prichinah vyikrashivaniya tverdospлавnyih vyireznyih matritys*, *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, No. 8, 1965, PP. 21–23. Print. 7. ТМ 112-63. *Shtampyi dlya holodnoy shtampovki, osnashchennyye tverdymi splavami. Raschetyi i konstruirovaniye*, 1964. 8. Ponomarev S.D., Biderman V.L., et al. *Raschoty na prochnost v mashinostroenii*. Moscow: Mashgiz, 1959, 1118. Print. 9. Birger I.A., Shorr B.F., and Shneyderovich R.M. *Raschet na prochnost detaley mashin. Spravochnoe posobie*. 2-e izd. Moscow: Mashinostroenie, 1966, 616. Print. 10. Zvorono B.P. *Raschet i konstruirovaniye shtampov dlya holodnoy shtampovki*. Moscow: Mashgiz, 1949, 196. Print. 11. Tretyakov V.I. *Metallokeramicheskie tverdyye splavy: fiziko-himicheskie osnovy proizvodstva, svoystva i oblasti primeneniya*. – Moscow: Metallurgizdat, 1962, 592. Print.

Надійшла (received) 30.10.2014