

Листовая штамповка

ПРИЖИМ ВЫТЯЖНОГО ШТАМПА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Е.Ю. ВЕРХОВ, канд. техн. наук, доц.

Ю.А. МОРОЗОВ, канд. техн. наук, доц.*

А.А. ФРОЛОВ, канд. техн. наук, доц.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

111250, Москва, Б. Семеновская, 38, т. 8(916)877-66-96*; akafest@mail.ru*

Рассматривается конструкция нового прижима вытяжного штампа, обеспечивающая стабильную пластическую деформацию вытягиваемого металла. Приводятся экспериментальные результаты, подтверждающие стабильность процесса вытяжки при использовании данного прижима.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: листовая штамповка, прижим, фланец, перетяжной порог, ребро.

Общеизвестно, что при листовой вытяжке сложных по форме деталей, в вытяжных штампах используют специальные конструкции прижимов, так называемые, перетяжные пороги и тормозные ребра, характеризующиеся радиусом скругления кромки R_i и углом охвата α (рис. 1).

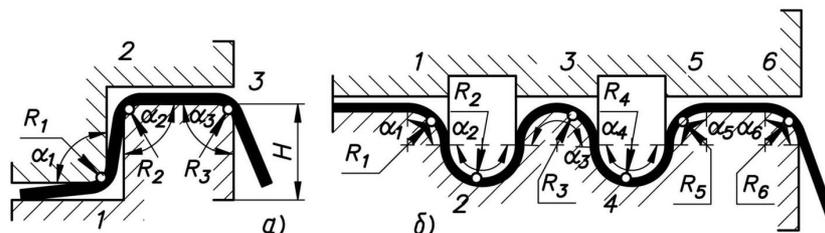


Рис. 1. Перетяжной порог (а) и тормозные ребра (б)

В исследованиях, посвященных этим конструкциям, было показано, что варьируя параметры прижимов, в том числе, отношения радиусов кромок к толщине перетягиваемого металла и количество перетягиваемых кромок, можно достигнуть любой величины торможения, вплоть до жесткого зажима заготовки. Следует при этом отметить, что, собственно, ни в одном из проведенных исследований не проводилась связь между возможностями исследуемых прижимов создавать конкретное усилие торможения и устранением при помощи этого усилия возможных дефектов вытягиваемых деталей – прежде всего, возникающих волн и так называемых «хлопунов» [1-4]. С этой целью было проведено моделирование на ЭВМ процессов перетягивания металла через пороги и ребра [5].

Вкратце, алгоритм расчета осуществлен следующим образом, производится расчет напряженно-деформированного состояния металла при единичном акте деформирования на каждой кромке прижима (изгибе или спрямлении) и управление этим расчетом в зависимости от формы прижима.

Движение фланца рассматривалось в стадии вытяжки, от начала вытягивания металла в полость матрицы до выхода в матрицу участка фланца, прошедшего все кромки прижима. В этой стадии неустановившегося движения (условное название) в полость матрицы поступает металл с постепенно увеличивающейся степенью деформации, полученного на прижиме, и, соответственно, увеличивающимся упрочнением, так как растет число единичных актов деформирования участков фланца при сходе с различных кромок прижима (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Число единичных актов деформирования фланца на перетяжных порогах в различных фазах периода неустановившегося движения

Глубина вытяжки, h	Номер фазы N	Номер кромки перетяжного порога (см. рис. 1, а)		
		1	2	3
$h < H$	1	2	2	2
$h < H + B$	2	2	4	4
$H > H + B$	3	2	4	6

Таблица 2

Число единичных актов деформирования фланца на тормозных ребрах в различных фазах периода неустановившегося движения (для упрощения все радиусы приняты равными)

Глубина вытяжки, h	Номер фазы N	Номер кромки перетяжного ребра (см. рис. 1, б)					
		1	2	3	4	5	6
$h < \pi R$	1	2	2	2	2	2	2
$h < 2\pi R$	2	2	4	4	4	4	4, 6
$h < 2\pi R$	3	2	4	6	6	6	8
$h < 3\pi R$	4	2	4	6	6	8	10
$h < 4\pi R$	5	2	4	6	8	10	10
$h < 4,5\pi R$	6	2	4	6	6	10	12

В математической модели напряженно-деформированного состояния металла, при единичном изгибе и спрямлении на кромках порогов и ребер, эти изгибы и спрямления заменялись круговым изгибом (спрямлением) с постепенным изменением кривизны и расчет проводился по теории течения.

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния в общем случае начинается из рассмотрения упругого состояния отожженной полосы, сечение которой условно разбивается на 100 частей, что обеспечивает требуемую точность расчетов волокон одинаковой толщины. Непрерывные по сечению заготовки значения напряжений и деформаций заменяются дискретными, постоянными в пределах каждого волокна при заданной его кривизне.

Начальная толщина отожженной полосы S в выбранном масштабе измерения принимается равной единице. Также в расчетах используются относительные радиусы кривизны изгибаемых (спрямляемых) участков фланца и кромок прижима отнесенные к толщине полосы R_i/S .

Для описания напряженного состояния формоизменения материала в упругой области выбирается линейный закон Гука; в области пластических деформаций, достаточной для инженерных расчетов точностью обладает степенная зависимость

$$\sigma = E \varepsilon ; \sigma = \sigma_{T0} + A \varepsilon^n, \tag{1}$$

где E – модуль нормальной упругости материала; ε – величина деформации, %; σ_{T0} – сопротивление пластической деформации в отожженном состоянии материала; A, n – эмпирические константы, определяющие приращение исходных механических свойств в зависимости от степени деформации.

При деформировании в упругом состоянии и отсутствии растягивающих напряжений, максимальное значение упругой деформации на внутреннем волокне принимается $\varepsilon_{вн} = \sigma_{T0}/E$. При этом радиус нейтральной поверхности, совпадающей с радиусом срединной поверхности (рис. 2) [6, 7]

$$\rho_n = 0,5 S / \varepsilon_{вн}. \tag{2}$$

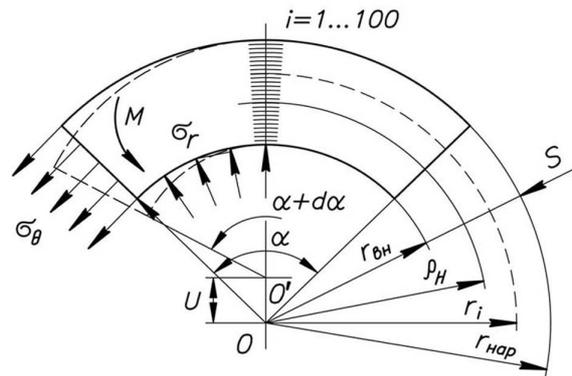


Рис. 2. Схема изгиба широкой полосы

Затем рассчитываются радиусы кривизны каждого i -го волокна (1; 2; 3; ... 100), а также их упругие деформации

$$r_i = \rho_n - 0,5S + \frac{i}{100}S \quad ; \quad \varepsilon_i = \frac{h}{\rho_n},$$

где $h = r_i - \rho_i$ – расстояние между i -м и нейтральным волокном.

По рассчитанным значениям накопленной степени деформации в каждом волокне, вычисляются значения напряжений (1) и определяется радиус нейтральной поверхности (2). Формула для расчета необходимого изгибающего момента получена из уравнений баланса работ внутренних и внешних сил при изгибе с растяжением

$$M = \frac{1}{2} \int_{r_{ai}}^{\rho_i} \left(\sigma_i \pm \sigma_\theta \pm \frac{\sigma_\theta(\rho_i - r_i)}{r_i} \right) \left| 1,0 - \frac{\rho_i^2}{r_i^2} \right| r dr,$$

где знак «+» или «-» относится к зоне сжатия изгибаемого (спрямляемого) участка.

Под действием найденного изгибающего момента, рассматриваемая полоса (участок фланца) начнет изгибаться (спрямляться).

Перемещение центра кривизны полосы, характеризующее изменение ее радиуса внутренней поверхности

$$dU_i = \frac{d\alpha}{2\alpha} \left(\frac{r_i^2 + \rho_i^2}{r_i} \right),$$

определяет параметр $d\alpha/\alpha$, что позволяет рассчитать перемещения dU_i всех волокон полосы. Новая толщина полосы определяется в виде разницы вновь полученных радиусов наружной и внутренней поверхностей

Далее определяют приращения тангенциальных (радиальных) деформаций $d\varepsilon_\theta$ ($d\varepsilon_r$) и интенсивности деформации каждого волокна:

$$d\varepsilon_\theta = -d\varepsilon_r = \frac{d\alpha}{2\alpha} \left(1,0 - \frac{\rho_i^2}{r_i^2} \right) \quad \text{и} \quad d\varepsilon_r = \frac{2}{\sqrt{3}} |d\varepsilon_\theta|.$$

Описанная последовательность вычисления параметров напряженно-деформированного состояния полосы при малом изменении кривизны изгибаемого (спрямляемого) участка многократно повторяется в итерационном цикле до тех пор, пока радиус кривизны внутренней поверхности не достигнет заданного значения: при изгибе – это радиус кромки, на которую заходит изгибаемый

участок, а при спрямлении – радиус кривизны, выше которого деформация настолько мала, что ею можно пренебречь. После завершения расчета для единичного акта деформирования (изгиба или спрямления на одной кромке прижима) происходит обращение к программному обеспечению, обеспечивающему необходимую последовательность этих расчетов при рассмотрении течения металла фланца на прижиме в следующем порядке.

Вначале, в соответствии с табл. 1 и 2, рассматриваются и рассчитываются параметры напряженно-деформированного состояния полосы для всех единичных актов деформирования в первой фазе периода неустановившегося движения последовательно от первого изгиба на первой кромке до последнего спрямления на последней кромке. Далее также последовательно рассчитываются эти параметры при изгибе и спрямлении во второй и последующих фазах периода неустановившегося движения. Исходными данными для расчета напряженно-деформированного состояния полосы при изгибе или спрямлении в любой фазе являются полученные расчетом для предыдущей фазы данные о растягивающих напряжениях, действующих на деформируемый участок, а также данные о распределении кривизны и интенсивности деформаций волокон, составляющих полосу. Растягивающие напряжения, действующие на изгибаемый на первой кромке участок полосы в первой фазе, принимаются равными нулю: $\sigma_\theta = 0$, т.е. предполагается отсутствие давления прижима на матрицу через заготовку, что соответствует условиям правильной эксплуатации прессового оборудования, обеспечивающей его пониженный износ. Приращение растягивающих напряжений от совершенного изгиба (или спрямления) на кромке

$$\Delta\sigma_\theta^{n/c} = \frac{M}{S^{n/c} (R_i + 0,5 S^{n/c})},$$

где M и $S^{n/c}$ – изгибающий момент и толщина полосы в конечный момент изгиба/спрямления.

Суммирование значений $\Delta\sigma_\theta^{n/c}$ при переходе от кромки к кромке с учетом приращения напряжений на преодоление сил трения:

$$\sum_{i=1}^N [1,0 \dots (N \dots + \Delta\sigma_\theta^n) e^{f\alpha} + \Delta\sigma_\theta^c + \dots + \Delta\sigma_\theta^n] e^{f\alpha} + \Delta\sigma_\theta^c,$$

где f и α – коэффициент трения и угол охвата фланцем кромки; N – число кромок прижима.

Расчет напряженно-деформированного состояния участков фланца во второй и последующих фазах начинается с кромки $i = N$, так как на кромке с номером $i = N - 1$ напряжения и деформации не изменяются, т.е. остаются такими же, как и в предыдущей $N - 1$ -й фазе.

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных были проведены расчеты для автокузовной стали 08кп с начальным пределом текучести 230 МПа и коэффициентами упрочнения $A = 34,6$ и $n = 0,6$. Полагали также равенство радиусов всех кромок. В результате расчетов на ЭВМ по описанной методике получены следующие результаты:

1. Показано, что в период неустановившегося движения происходит рост растягивающих напряжений на 20...25% для порогов и ребер.

2. При использовании порогов и ребер $R_i/S = 2$ и $R_i/S = 8$ создаются практически одинаковые растягивающие напряжения, однако достигается различная (140% для порогов и 70% для ребер) средняя интенсивность деформаций по сечению участка фланца, прошедшего все кромки, т.е. показано, что запас пла-

стичности металла, выходящего с прижима, используется при перетягивании его через ребра в 2 раза меньше, чем при перетягивании через пороги.

Результаты расчетов показывают также, что вследствие значительного упрочнения из-за деформирования на прижме, средний по сечению предел текучести участков заготовки, вышедших из-под прижима в любой фазе вытяжки, всегда больше максимальных растягивающих напряжений, создаваемых в конце периода неустановившегося движения, поэтому не будет пластического деформирования этих участков в полости матрицы за счет натяжения со стороны прижима.

Математическое моделирование на ЭВМ процесса течения фланца заготовки при вытяжке кузовных деталей позволило сформулировать рекомендации, которые необходимо использовать при процессах вытяжки:

1. Для обеспечения высокого качества поверхности детали, достигаемого устранением на свободных участках ее поверхности таких дефектов, как волны и «хлопуны» при пластическом растяжении части заготовки, находящейся в полости матрицы, длину деформирующего профиля прижима (порогов и ребер) следует выбирать равной глубине вытягиваемой детали.

2. При вытяжке глубоких деталей рекомендуется для предотвращения гофрообразования, введение выштамповок за счет использования поперечных ребер на соответствующей поверхности матрицы.

3. Если при вытяжке глубоких деталей из металлов и сплавов с малым ресурсом пластичности на поверхности детали волнистость не возникает, то предпочтительно использовать перетяжные ребра.

В соответствие с патентом №1263392 «Способ торможения фланца листовой заготовки» был предложен прижим вытяжного штампа, совмещающий, по мысли авторов, положительные свойства, как перетяжных порогов, так и тормозных ребер (рис. 3) [8].

Для определения возможностей предложенного прижима, а также для проверки высказанного предположения о создании режимов торможения с одновременным пластическим растяжением, была разработана и изготовлена экспериментальная оснастка, которая монтировалась на испытательной машине «INSTRON» и из-под прижима вытягивались стальные заготовки (рис. 4).

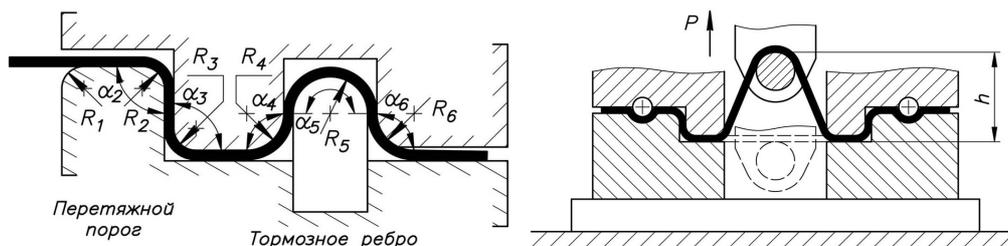


Рис. 3. Положение фланца заготовки в начальный момент и основное время вытяжки

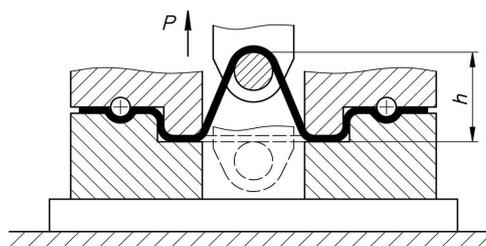


Рис. 4. Схема экспериментальной оснастки

Толщина вытягиваемых заготовок равнялась 0,8 мм, ширина 40 мм, марка стали 08Ю, состояние отожженное. На заготовки перед вытягиванием наносились параллельные риски с шагом 2 мм для дальнейшего измерения деформации по изменению расстояния между рисками.

Радиусы скругления порога и ребра $R_1 = R_2 = R_3 = 8$ мм. В процессе эксперимента часть заготовок (5 шт.) вытягивалась со смазкой, часть заготовок (5 шт.) – без смазки.

На рис. 5 показаны графики снятия усилий в процессе вытягивания стальных полосок из-под прижима. Как следует из приведенных графиков, в проведенных экспериментах получены следующие результаты:

1. Выбранные параметры прижима и заготовок позволили сразу реализовать следующий режим вытягивания – заготовки, как со смазкой, так и без смазки, вытягивались из-под прижима с постоянным пластическим растяжением «свободных» участков, недеформированных на прижиме.

2. При вытягивании всех заготовок, как со смазкой, так и без смазки, показывалась плавность роста усилий вытягивания на протяжении всего процесса вытягивания (без каких-либо нарушений или возмущений). Это свидетельствует о стабильности режима торможения, создаваемого исследуемым прижимом.

Таким образом, экспериментально доказана возможность использования эффекта торможения для устранения на металле таких дефектов как волны и «хлопуны», за счет пластического растяжения недеформируемой части металла на прижиме. Исследованный прижим показал стабильность вытягивания металла, как при наличии смазки, так и при ее отсутствии.

Полученные результаты рекомендуются к широкому использованию в областях, связанных с получением сложных по форме листовых деталей, в т.ч., в автокузовном производстве [9].

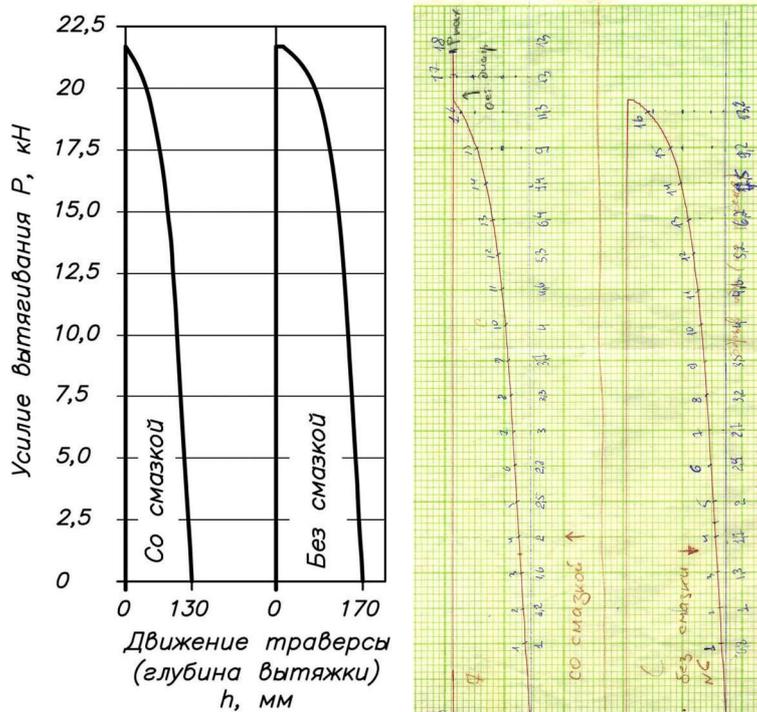


Рис. 5. Диаграмма испытания вытягивания образцов на экспериментальной оснастке

Л и т е р а т у р а

1. *M.H. Parsa, S. Nasher al ahkami, H. Pishbin, M. Kazemi.* Investigating spring back phenomena in double curved sheet metals forming // *Materials & Design*, Volume 41, October 2012, p. 326-337.

2. *Alexander Govik, Larsgunnar Nilsson, Ramin Moshfegh.* Finite element simulation of the manufacturing process chain of a sheet metal assembly // *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 212, Issue 7, July 2012, p. 1453-1462.

3. *Верхов Е.Ю., Морозов Ю.А., Сероугольников Р.В.* Отработка технологии листовой штамповки толстолистовых деталей // *Инновационные технологии обработки металлов давлением: Тез. докл. Межд. научно-технической конф. посвященной 100-летию со дня рождения Полухина Петра Ивановича.* – М.: МИСиС, 2011. – С. 56-57.

4. *Верхов Е.Ю., Морозов Ю.А.* Анализ и разработка технологии изготовления гнутых толстолистовых деталей // *Вестник Московского государственного открытого университета. Техника и Технология.* – М.: МГОУ. – №4 (6), 2011. – С. 14-19.

5. Тетерин Г.П., Верхов Е.Ю. Математическое моделирование на ЭВМ течения металла через пороги и ребра и проектирование малоотходных процессов вытяжки кузовных деталей // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – №7. – С. 12-16.
6. Кохан Л.С., Роберов И.Г., Морозов Ю.А., Борисов А.В. Утонение стенок прокатанных профилей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – М.: МИСиС, 2009. – Вып. 3. – С. 16-18.
7. Роберов И.Г., Кохан Л.С., Морозов Ю.А., Борисов А.В. Выбор расчетной модели утонения стенок при формовке рельефных поверхностей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – М.: МИСиС, 2009. – Вып. 5. – С. 31-34.
8. А.с. 1263392 СССР, МПК В 21 D 22/02. Способ торможения фланца листовой заготовки в процессе вытяжки [Текст]/ Г.П. Тетерин, Е.Ю. Верхов, Е.А. Докутович, Г.Г. Сагач, О.В. Усольцев, А.А. Железнов, К.П. Шитиков, Ю.Н. Гомозов, А.И. Богатырев и И.М. Вейцман (СССР). – 3838858/25-27; заявлено 14.01.85; опубл. 15.10.86, Бюл. №38.
9. Верхов Е.Ю., Морозов Ю.А. Использование высокоэффективной технологии штамповки листовых деталей сложной формы // Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве: Материалы третьей Межд. научно- практ. конференции (25 апреля 2014 г). – Новотроицк: НФ НИТУ "МИСиС", 2014. – С. 53-55.

References

1. Parsa, MH, Nasher al ahkami, S., Pishbin, H, Kazemi, M (2012). Investigating spring back phenomena in double curved sheet metals forming. *Materials & Design*, Vol. 41, October, pp. 326-337.
2. Alexander Govik, Larsgunnar Nilsson, Ramin Moshfegh (2012). Finite element simulation of the manufacturing process chain of a sheet metal assembly. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 212, Iss. 7, pp. 1453-1462.
3. Verkhov, EYu, Morozov, YuA, Serougol'nikov, RV (2011). Otrabotka tekhnologii listovoj shtampovki tolstolistovykh detalej. *Innovatsionnye Tekhnologii Obrabotki Metallov Davleniem: Tez. dokl. mezhd. nauchno-tekhn. konf. i posvyashhennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya Polukhina P.I.* – М.: МИСиС, p. 56-57.
4. Verkhov, EYu, Morozov, YuA (2011). Analiz i razrabotka tekhnologii izgotovleniya gnutykh tolstolistovykh detalej. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Otkrytogo Universiteta. Tekhnika i Tekhnologiya.* – Moscow: MGOU, №4 (6), pp. 14-19.
5. Teterin, GP, Verkhov, EYu (1987). Matematicheskoe modelirovanie na EVM techeniya metalla cherez porogi i rebra i proektirovanie malootkhodnykh protsessov vytyazhki kuzovnykh detalej. *Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo.* №7, pp. 12-16.
6. Kokhan, LS, Roberov, IG, Morozov, YuA, Borisov, AV (2009). Utonenie stenok prokatannykh profilej. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya.* No 3, pp. 16-18.
7. Roberov, IG, Kokhan, LS, Morozov, YuA, Borisov, AV (2009). Vybor raschetnoj modeli utoneniya stenok pri formovke rel'efnykh poverkhnostej. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij. Chernaya Metallurgiya.* No 5, pp. 31-34.
8. Teterin, GP, Verkhov, EYu, Dokutovich, EA, Sagach, GG, Usol'tsev, OV, Zheleznov, AA, Shitikov, KP, Gomofov, YuN, Bogatyrev, AI, and Vejtsman, IM (1986). A.s. 1263392 USSR (Patent of the USSR), МПК В 21 D 22/02. Sposob tormozheniya flantsa listovoj zagotovki v protsesse vytyazhki.
9. Verkhov, EYu, Morozov, YuA (2014). Ispol'zovanie vysokoehffektivnoj tekhnologii shtampovki listovykh detalej slozhnoj formy. *Innovatsionnye Materialy i Tekhnologii v Mashinostroitel'nom Proizvodstve: Materialy 3-ey Mezhd. nauchno-prakt. konf.*, April 25, 2014, Novotroitsk: NF NITU "MISiS", p. 53-55.

CLIP OF THE EXHAUST STAMP FOR HIGH-QUALITY RECEIVING DIFFICULT SHEET DETAILS

E.Yu. VERKHOV, Yu.A. MOROZOV, A.A. FROLOV
Moscow State Machine-Building University (MAMI), Moscow

The design of a new clip of an exhaust stamp providing stable plastic deformation of the extended metal is considered. The experimental results confirming stability of process of an extract when using this clip are given.

KEY WORDS: sheet stamping, clip, flange, neck threshold, brake edge.