

Выводы. В работе выявлены и систематизированы основные методы формообразования, направленные на снижение энергоемкости процесса и снижения деформирующих усилий. Наиболее эффективно это достигается при штамповке кристаллизирующейся жидкостью при замене операций формовки гибкой с самопроизвольным формоизменением и гибкой вдавливанием жесткого инструмента.

Список литературы: 1. *Кривцов В.С.* Стан і перспективи застосування імпульсних джерел енергії для технологічних процесів обробки матеріалів [Текст] / *Кривцов В.С., Борисевич В.К.* // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2007. - №11 (47) – с. 10–17. 2. *Борисевич В.К.* Багатофакторність фізичних явищ при вибуховій металообробці [Текст] / *Борисевич В.К., Драгобецький В.В., Троцько О.В.* // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2007. - №11 (47) – с. 62–72. 3. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. [Текст] / *Романовский В.П.* – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

УДК 621.961.001

СЫЧУК Ю.Т., зав. лабораторией каф. ДМ и ПТМ, ЗНТУ, Запорожье
ЧИГИРИНСКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., зав. каф. ОМД, ЗНТУ, Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ ПРОБИВКЕ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ РИФЛЕННЫМИ ПУАНСОНАМИ

Установлена неоднородность деформированного состояния пробиваемой заготовки вдоль периметра рифленой рабочей поверхности пуансона. Определено влияние рифленой рабочей поверхности пуансона на размеры зоны пластической деформации, величину перемещения металла заготовки по торцу рифленого пуансона, образование трещин скола при пробивке.

Встановлена неоднорідність деформованого стану заготовки, яка пробивається, вздовж периметру рифленої робочої поверхні пуансону. Визначено вплив рифленої робочої поверхні пуансону на розміри зони пластичної деформації, величину переміщення метала заготовки по торцю рифленого пуансона, утворення тріщин сколу при пробивці.

Discovered heterogeneity strain state of punched blanks along the perimeter of the working surface of the corrugated punch. Defined the effect of grooved working surface of the punch for the size of the zone of plastic deformation, the displacement of the metal piece on the end face corrugated punch, shear cracks in the punching.

Качественные характеристики деталей, изготавливаемых из толстолистовых горячекатаных малоуглеродистых сталей в значительной мере определяются износостойкостью рабочего инструмента разделительных штампов, в частности пробивных пуансонов. Повышенная износостойкость пробивных пуансонов обеспечивается при минимальной нагрузке на их режущие кромки путем уменьшения размеров зоны пластической деформации [1,2,3]. Одним из способов уменьшения последней является применение для пробивки пуансонов с макрогеометрией рабочей части в виде совокупности продольных рифлений [4].

В работе [5] отмечается возможность создания условий активного управления процессом разделения заготовки путем оптимизации макрогеометрии рабочих частей штампа как на этапе пластического разделения, так и на этапе разрушения заготовки. При этом в данной работе отмечается важность изучения процесса зарождения и развития трещины скола с целью изыскания возможности управления процессом разрушения заготовки при разделительных операциях.

В качестве штампуемого материала применялась горячекатаная листовая сталь марки СтЗкп/пс толщиной 3 мм. Механические свойства указанной стали приведены в таблице ($\sigma_{0,2}$ - предел текучести, σ_B - предел прочности, δ_5 - относительное удлинение).

Таблица – Механические свойства стали СтЗкп/пс

| $\sigma_{0,2}$ | σ_B | δ_5 |
|----------------|------------|------------|
| МПа | | |
| 260 | 430 | % |
| | | 30 |

Эксперимент проводился при поэтапной пробивке образцов указанной стали в виде дисков $\varnothing 36$ мм шлифованным и рифленным пуансонами $\varnothing 9,1$ мм при двустороннем технологическом зазоре, равном 15% от толщины заготовки. Для характеристики профиля продольных рифлений (рис. 1) на рабочей части пуансона был применен обобщенный показатель X_* [6], учитывающий соотношение участков выступов и впадин, а также угла и глубины впадин на боковой поверхности рабочей части пуансона

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

где t - шаг рифлений;

r и 2α - глубина и угол впадины рифления;

l - длина стороны впадины рифления.

Показатель X_* рифленого пуансона, применяемого при эксперименте, составлял 0,7.

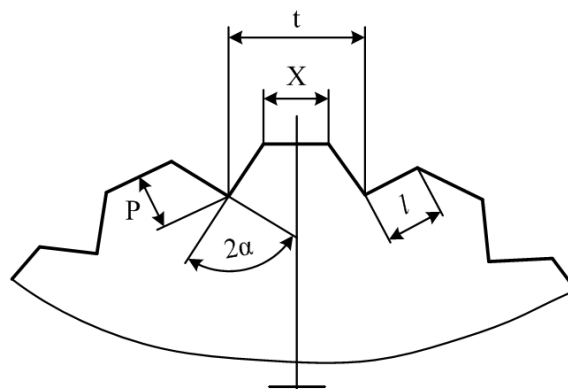


Рис. 1. Профиль рифлений на боковой поверхности рабочей части пробивного пуансона

Поэтапная пробивка осуществлялась без прижима в лабораторном штампе [7] на кривошипном прессе мод. К2326 усилием 400 кН. При этом на дисках $\varnothing 36$ мм рабочим ходом ползуна пресса при его последовательном увеличении на 5% (0,15 мм) получали отпечатки шлифованным и рифленным пуансонами до момента

отделения отхода. Для получения дополнительной информации пробивка образцов проводилась также при рабочем ходе пуансона менее 0,15 мм.

Деформированные на каждом этапе образцы разрезались по диаметральной плоскости. Измерялись параметры пробитого отверстия, приведенные на рис. 2: ширина зоны смятия $B_{ш}$, высота утяжки h_y и блестящего пояска $h_{пш}$ при пробивке шлифованным пуансоном; высота утяжки у выступа рифления $h_{ур}$ и во впадине рифления $h_{ув}$, высота блестящего пояска в указанных зонах – соответственно $h_{пр}$ и $h_{пв}$, ширина зоны смятия при пробивке рифленным пуансоном B_p , а также в обеих случаях измерялась высота блестящего пояска на отходе $h_{пм}$ и фиксировался момент зарождения трещин скола.

Для установления направления и величины перемещения металла заготовки в зонах утяжки и смятия выполнялась поэтапная пробивка дисков $\varnothing 36$ мм с лунками на полированной плоскости дисков. Лунки наносились вдоль координатных осей на расстоянии 0,1 мм друг от друга в зоне предполагаемой утяжки и смятия и на расстоянии 0,2 мм в остальной зоне. Уменьшение расстояния между диаметрально противоположными точками деформированного образца свидетельствовало о перемещении металла заготовки к центру пуансона, увеличение – о перемещении в противоположном направлении аналогично методике, приведенной в работе [8].

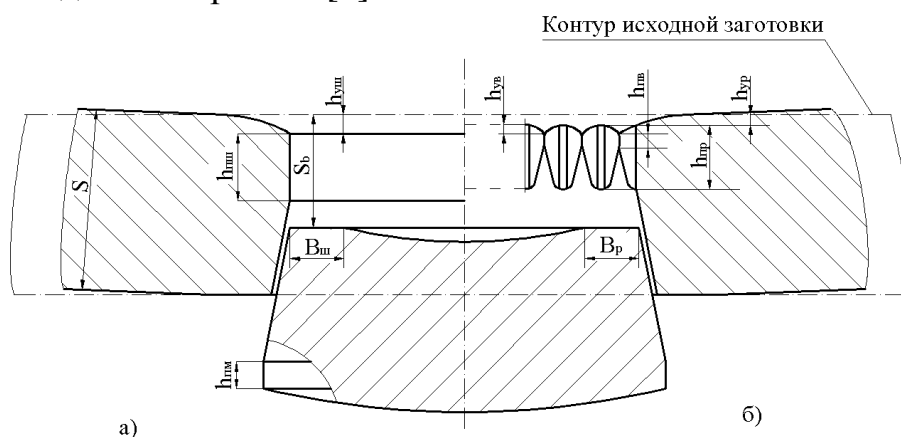


Рис. 2. Геометрические параметры отверстия, пробитого шлифованным (а) и рифленным (б) пуансонами

Полученная картина процесса разделения на различных этапах внедрения шлифованного и рифленого пуансонов в материал заготовки показала следующее.

В начальный момент пробивки происходит упругий изгиб заготовки под действием режущих кромок пуансона и матрицы, причем некоторое время заготовка находится в соприкосновении только с вершинами режущих кромок пуансона и матрицы. После этого начинаются деформации смятия в зоне контакта с торцевой поверхностью пуансона и матрицы и утяжка у боковой поверхности рабочей части инструмента. При этом начало образования зоны смятия $B_{ш}$ под торцом шлифованного пуансона заметно при рабочем ходе пуансона, равном 5% толщины заготовки (рис. 3, точка 1 графика $B_{ш}$). При пробивке рифленным пуансоном зона смятия B_p образуется уже при рабочем ходе пуансона, равном 3-4% толщины заготовки (рис. 3, точка 1 графика B_p). Это обстоятельство

объясняется следующим: на стадии изгиба заготовки рифленый пуансон контактирует с последней только площадками выступов рифлений X (рис. 1), вследствие чего местное смятие от отдельных выступов рифлений осуществляется при меньших энергосиловых затратах, а следовательно, меньшем рабочем ходе, чем смятие от сплошной режущей кромки шлифованного пуансона.

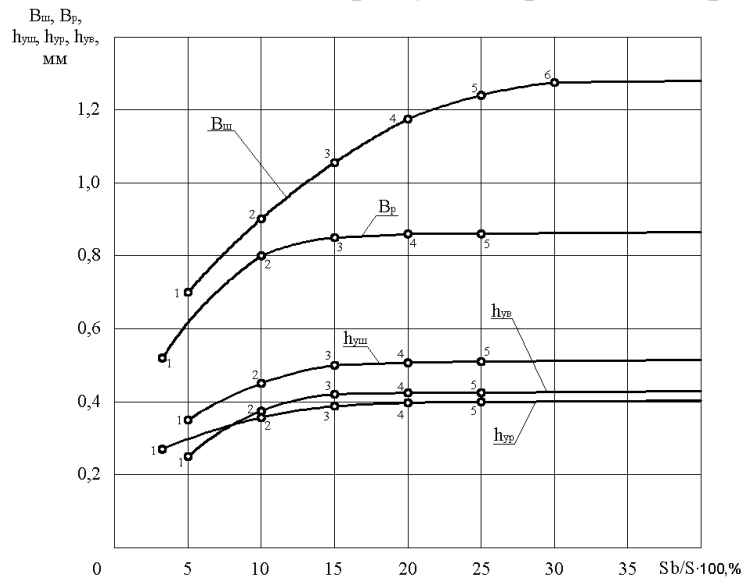


Рис. 3. Зависимость геометрических параметров отверстия, пробитого шлифованным ($h_{уш}$, $B_{ш}$) и рифленым ($B_{р}$, $h_{ур}$, $h_{уэ}$) пуансонами, от относительного рабочего хода пуансона $Sb/S \cdot 100$

По этой причине более раннее образование зоны смятия при пробивке рифленым пуансоном сопровождается меньшей утяжкой $h_{ур}$, чем при пробивке шлифованным пуансоном $h_{уш}$ (рис. 3, точки 1 графиков $h_{ур}$ и $h_{уш}$). Одновременно с образованием зоны смятия $B_{р}$ происходит заполнение металла заготовки профиля рифления и начало образования утяжки во впадинах рифлений $h_{уэ}$ (рис. 3, точка 1 графика $h_{уэ}$).

В обоих случаях на стадии образования зон смятия $B_{ш}$ и $B_{р}$ наблюдается перемещение металла заготовки по торцу пуансона в направлении его центра. При этом из-за разности условий течения металла у выступов и впадин рифлений результирующее значение перемещения металла заготовки по торцу рифленого пуансона в среднем на 25% меньше, чем при пробивке шлифованным пуансоном.

При рабочем ходе рифленого пуансона до 10% толщины заготовки одновременно с увеличением ширины зоны смятия $B_{р}$ возрастает дополнительная утяжка в объемах заготовки, примыкающих к впадинам рифлений $h_{ув}$ (рис. 3, точка 2 графика $h_{ув}$). Величина $h_{ув}$ определяется значением обобщенного показателя X_* . В процессе пробивки шлифованным пуансоном наблюдается увеличение зоны смятия $B_{ш}$ (на 10% больше, чем при пробивке рифленым пуансоном) и утяжки $h_{у}$ (рис. 3, точки 2 графиков $B_{ш}$ и $h_{у}$), а также увеличение деформации продавливания, характеризуемой шириной блестящего пояса $h_{пш}$.

Дальнейшее увеличение рабочего хода пуансона (до 15% от толщины заготовки) в обоих случаях приводит к увеличению зон смятия $B_{\text{ш}}$ и $B_{\text{р}}$ (рис. 3, точки 3 соответствующих кривых), что свидетельствует о продолжающемся перемещении металла заготовки к центру пуансона. При пробивке шлифованным пуансоном наблюдалось некоторое снижение роста утяжки $h_{\text{уш}}$ (рис. 3, точка 3 графика $h_{\text{уш}}$) и увеличение ширины блестящего пояска $h_{\text{пш}}$. Пробивка рифленным пуансоном сопровождалась неравномерной утяжкой вдоль профиля рифлений. Вследствие "упора" заготовки в площадки выступов рифлений X происходит уменьшение роста $h_{\text{ур}}$ (рис. 3, точка 3 графика $h_{\text{ур}}$), тогда как металл заготовки, находящийся во впадинах рифлений, продолжает изгибаться под действием внутреннего угла впадины рифлений (рис. 3, точка 3 графика $h_{\text{ув}}$).

Увеличение рабочего хода рифленного пуансона до 20% толщины заготовки характеризуется уменьшением роста зоны смятия $B_{\text{р}}$; при этом величина утяжки в объемах металла заготовки, находящихся во впадинах рифлений, $h_{\text{ув}}$ достигает своего наибольшего значения (рис. 3, точки 4 графиков $B_{\text{р}}$ и $h_{\text{ув}}$). Наблюдаемая неоднородность деформированного состояния вдоль контура рифленной режущей кромки (сдвиг – вблизи площадок выступов рифлений X , смятие – под торцами рифлений и растяжение с изгибом – в объемах заготовки, контактирующих с впадинами рифлений) приводит к первоначальному образованию скалывающих трещин от пуансона. Первоначальное образование скалывающих трещин происходит в объемах заготовки, примыкающих к впадинам рифлений, где растягивающие напряжения и деформации достигают своего наибольшего значения. Образование скалывающих трещин от впадин рифлений при рабочем ходе пуансона, равном 20% толщины заготовки, подтверждается максимумом силовой диаграммы при указанном рабочем ходе.

При пробивке шлифованным пуансоном на данном этапе продолжается увеличение зоны продавливания (блестящего пояска $h_{\text{пш}}$), а также рост пояска смятия $B_{\text{ш}}$ (рис. 3, точка 4 графика $B_{\text{ш}}$).

Увеличение рабочего хода рифленного пуансона до 25% толщины заготовки характеризуется раскрытием трещин скалывания в зонах заготовки во впадинах рифлений, слиянием их между собой и распространением в глубину заготовки. Вследствие этого прекращается перемещение металла заготовки по торцу пуансона, что иллюстрируется постоянством ширины пояска смятия $B_{\text{р}}$, величины утяжки во впадинах рифлений $h_{\text{ув}}$ и незначительным увеличением утяжки $h_{\text{ур}}$ у площадки рифлений X (рис. 3, точки 5 графиков $B_{\text{р}}$, $h_{\text{ув}}$ и $h_{\text{ур}}$). При пробивке шлифованным пуансоном на данном этапе наблюдается увеличение ширины зоны смятия $B_{\text{ш}}$ (рис. 3, точка 5 графика $B_{\text{ш}}$) и блестящего пояска $h_{\text{пш}}$.

При дальнейшем увеличении рабочего хода пуансона (до 30% толщины заготовки) в обоих случаях возникают скалывающие трещины у режущих кромок матрицы. Образование первой скалывающей трещины от матрицы при пробивке шлифованным пуансоном подтверждается большей высотой блестящего пояска

на детали $h_{\text{пш}}$, который при полном разделении заготовки превышает блестящий поясok на отходе $h_{\text{от}}$ в 2 раза, что согласуется с данными работы [9].

При пробивке рифленным пуансоном на данном этапе отход полностью отделяется от детали.

Полное отделение отхода от заготовки при пробивке шлифованным пуансоном происходит при рабочем ходе пуансона, равном 45% от толщины заготовки.

Выводы

Сравнительный анализ последовательных этапов пробивки рифлеными и шлифованными пуансонами показал следующее.

1. Процесс пробивки заготовки рифленным пуансоном качественно состоит из тех же видов деформации (прогиб, смятие, утяжка, продавливание, трещинообразование), что пробивка шлифованным пуансоном.

2. Отличительными особенностями пробивки рифленным пуансоном являются следующие:

а) неоднородность деформированного состояния заготовки вдоль контура рифленой рабочей части;

б) образование скалывающихся трещин от режущих кромок пуансона и матрицы при пробивке рифленным пуансоном происходит практически одновременно;

в) меньшее, чем при пробивке шлифованным пуансоном перемещение металла заготовки по торцу пуансона (в среднем на 25%), что снижает его торцевой износ;

г) меньшая, нежели при пробивке шлифованным пуансоном, протяженность очага деформации.

Список литературы: 1. Михаленко Ф.П. Определение интенсивности напряжений и деформаций в пластической области при вырубке-пробивке тонколистового металла / Михаленко Ф.П., Гулиев А.И. // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1988. – №6. – С.13-16. 2. Смолянинов В.П. Определение зоны пластической деформации при вырезке листового металла / Смолянинов В.П., Шевченко М.М., Спирина С.И. // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1976. – №2. – С.19-22. 3. Цанко И. Цанков. Штамповочное резание по прямоугольному контуру посредством рифленных пуансонов с плоско-параллельными режущими кромками / Цанко И. Цанков, Емил С. Костов (пер. с болг.) // Электропромышленность и приборостроение. – 1980. – Т.5. – №12. – С.459-462. 4. Юдович С.З. 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. 5. Соловцов С.С. Состояние и перспектива развития разделительных процессов обработки металлов давлением / Соловцов С.С. // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1981. – №8. – С.34-36. 6. Нагорный Ю.И. Расчет работы разделения при пробивке рифленным пуансоном / Ю.И. Нагорный, Ю.Т. Сычук, С.З. Юдович // Изв. ВУЗов, М. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 1990. – №2. – С.91-94. 7. А.с. 416125 СССР, М. Кл. В21с 51/00. Устройство к штампу для измерения усилий на пуансоне / С.З. Юдович, Л.И. Живов, Б.Н. Чумаков, Ю.Т. Сычук, В.И. Дубина, Ю.А. Фурманов, В.А. Глазков / (СССР). – №1764047/25-27; Заявлено 28.03.72; Оpubл. 25.02.74, Бюл. №7. – Зс. 8. Хмара С.М. Течение металла по пояску смятия при вырубке / Хмара С.М., Смолянинов В.П., Спирина С.И., Шевченко М.М. // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1973. – №3. – С.23-26. 9. Михаленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с.