

**ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ АЗОТИРОВАННОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННЫХ
НА ПУАНСОНЫ И МАТРИЦЫ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ, НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ГОРЯЧЕ- И
ХОЛОДНОКАТАННЫХ ПОЛОС**

*Машеков Серик Акимович** – д.т.н., профессор, Satbayev University, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 22. Тел: (8-727) 257 – 70 – 46, e-mail: mashekov.1957@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9577-2219>

Киянбекова Лязат Рахатовна – аспирант КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: bauyaz11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-3400>

Түкүбай Асылзат Ахметқызы – доктор PhD, Satbayev University, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 22. Тел: (8-727) 292 – 11 – 56, e-mail: asilzat1978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3074-4505>

Машекова Айым Сериковна – докторант «МИСиС» Россия, 119049 г. Москва, Ленинский проспект, д. 4. моб. тел. 8-702-100-16-16. e-mail: ms.mashekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-2129>

Аннотация. В работе представлены результаты, полученные при исследовании влияния азотированного слоя, нанесенных на пуансоны и матрицы для глубокой вытяжки, на технологические параметры процессов. В статье установлена преимущества штамповки заготовки с азотированным слоем, как хорошая адгезию к подложке, высокая поверхностную твердость, снижающую абразивный износ, низкий коэффициент трения в паре со многими материалами, высокую химическую инертность и сопротивление повышенным температурам. Показано, что для процесса глубокой вытяжки при комнатной температуре наиболее существенным является низкий коэффициент трения покрытия. В работе установлено, что холоднокатанная заготовка, прокатанная на многофункциональном продольно-клиновом стане, по сравнению с горячекатаной заготовкой, прокатанной на этом же стане, имеет большую величину усилий вытяжки и малую величину коэффициента вытяжки, при этом быстро подвергается разрушению из-за упрочнения во время прокатки и появлением остаточного напряжения после прокатки. Выявлено, что заготовка без азотированного слоя по сравнению с заготовкой с азотированным слоем имеет большую величину усилий вытяжки и малую величину коэффициента вытяжки.

Ключевые слова: многофункциональный продольно-клиновый стан, валки, клетки, штамповка, коэффициент трения, глубокая вытяжка.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF NITROGENED COATING, APPLIED ON
PUNCHES AND MATRICES FOR DEEP EXTRACT, ON TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF THE STAMPING PROCESS OF HOT AND COLD-ROATED STRIPS**

Mashekov Serik Akimovich

Kiyankbekova Lyazat Rakhatovna

Tukybai Asylzat Akhmetovna

Mashekova Aiym Serikovna

Annotation. The paper presents the results obtained in the study of the effect of nitrided layer deposited on punches and deep-drawing dies on the technological parameters of the processes. The article establishes the advantages of forming a blank with a nitrated layer, such as good adhesion to the substrate, high surface hardness, reducing abrasive wear, low coefficient of friction in a pair with

many materials, high chemical inertness and resistance to elevated temperatures. It is shown that for the deep-drawing process at room temperature the low coefficient of friction of the coating is the most significant. It was found that the cold-rolled billet rolled on the multifunctional longitudinal wedge mill, as compared to the hot-rolled billet rolled on the same mill, has a large amount of stretching effort and a small amount of stretch ratio, while quickly being destroyed due to hardening during rolling and the appearance of residual stress after rolling. It was revealed that the billet without nitrated layer in comparison with the billet with nitrated layer has a large amount of drawing force and a small value of the drawing ratio.

Key words: multifunctional longitudinal wedge mill, rolls, stands, stamping, friction coefficient, deep drawing.

Введение. В настоящее время повышение качества выпускаемой штампованной продукции связано с обострением конкурентной борьбы в условиях ускоряющегося научно-технического прогресса и условием выживания производства в конкурентной среде [8]. Для выпуска качественной продукции, с одной стороны, возрастают требования к основным параметрам деталей, отражающиеся в технологических процессах, с другой стороны – к оснастке листовой штамповки с точки зрения ее производительности, экономичности и надежности.

Большое количество работ было посвящено проблеме повышения штампуемости материалов, характеризуемой как способностью к глубокой вытяжке (принятием заданной формы без потери стабильности и разрушения), так и максимальным усилием штамповки [8]. Способность листовых материалов к глубокой вытяжке обычно выражают через предельный коэффициент вытяжки (ПКВ), который для осесимметричной детали определяют как отношение наибольшего диаметра заготовки, которая может быть отштампована, к диаметру пуансона [3].

Одним из основных факторов, влияющих на качества материала при обработке металлов давлением, является сила трения между заготовкой и инструментом [2]. В листовой штамповке для уменьшения трения успешно применяется целый ряд методов [3,8]: повышение твердости поверхности инструментов, увеличение чистоты поверхности и использование смазок. Одним из перспективных методов является нанесение покрытий на рабочие органы (инструменты) штампа.

Исследования показали, что нанесение на режущий инструмент покрытий из карбидов, нитридов и оксидов повышает его долговечность, производительность процесса и улучшает качество обработанной поверхности [10]. Однако в настоящее время влияние покрытий на стойкость инструмента для глубокой вытяжки изучено недостаточно.

В работе [7] показано, что трение на закруглении торца пуансона влияет на натяжение заготовки при контакте с пуансоном и на усилие разрушения. В данной работе установлено влияние механических свойств листовой заготовки и силы трения на предельный коэффициент вытяжки. При глубокой вытяжке доминируют два различных условия трения; между заготовкой и поверхностью пуансона, где происходит весьма малое проскальзывание, и между заготовкой и матрицей (прижимом). В первом случае превалирует трение натяжения, а во втором – трение скольжения.

Следует отметить, что работе [8] приведено уравнение, связывающее максимальное усилие штамповки с идеальным усилием деформации, силами трения и усилием, необходимым для изгиба заготовки по радиусу матрицы. Учитываются усилия трения между фланцем и матрицей, фланцем и прижимом и на радиусе закругления матрицы. Показано, что течение металла в процессе формоизменения можно контролировать, изменяя коэффициент трения между заготовкой и инструментом путем изменения шероховатости первой поверхности, нормального давления прижима, а также применения смазки.

Преимущества применения способов поверхностного упрочнения и нанесения покрытий

для режущего и формоизменяющего инструмента, перечисленные в работах [1,4,5,9], включают: повышение стойкости (в 2-10 раз по сравнению с инструментом без покрытий), повышение производительности (скорости резания возрастают на 25-90 %), улучшение качества обработанной поверхности и снижение усилий резания. Повышение характеристик инструмента обусловлено хорошей износостойкостью покрытий и упрочненной поверхности, а также прочностью и вязкостью основного металла. Покрытия обеспечивают также химический барьер при резании или формоизменении металлов. Высокая смазывающая способность многих покрытий снижает коэффициент трения между инструментом и заготовкой. Поскольку при толщине покрытия более 12 мкм оно охрупчивается, рекомендована толщина не более 8 мкм. После сравнения различных видов покрытий предпочтение с точки зрения снижения коэффициента трения было отдано нитриду титана.

Целью настоящей работы: исследование влияние азотированного слоя, нанесенной на пуансоны и матрицы для глубокой вытяжки, на технологические параметры штамповки.

Материалы и методика эксперимента. В работе представлены результаты, полученные при исследовании влияния азотированного слоя, нанесенных на пуансоны и матрицы для глубокой вытяжки, на технологические параметры процессов. Преимущества азотированного слоя включают: хорошую адгезию к подложке, высокую поверхностную твердость, снижающую абразивный износ, низкий коэффициент трения в паре со многими материалами, высокую химическую инертность и сопротивление повышенным температурам. Для процесса глубокой вытяжки при комнатной температуре наиболее существенным является низкий коэффициент трения покрытия.

Полосы с различной шероховатостью получали на многофункциональном продольно-клиновом стане (МПКС) новой конструкции [6].

Горячую и холодную прокатку полос из стали 08кп (0,11 % С; 0,35 % Мп; 0,02 % Si; 0,035 % Р; 0,04 % S; 0,10 % Cr; 0,25 % Ni; 0,25 % Си) на новом МПКС осуществляли следующим образом. Исходную заготовку из стали 08кп размером 8×300 мм нагревали до температуры 900 °С, выдерживали 30 мин и прокатывали на ПКС до толщины 1,2 мм. Заготовку вышеприведенным размером также прокатывали до толщины 1,2 мм при комнатной температуре. Прокатку полосы на ПКС осуществляли с единичным обжатием в первой клетки 30%, во второй клетки 20%, в третьей клетки 20%, в четвертой клетки 20%; в пятой клетки 15%.

Для измерения шероховатости прокатанных полос использовали прибор профилограф-профилометр 201. При этом шероховатость поверхности полосы количественно оценили по следующим формулам:

Высота неровностей профиля:

$$R_z = R_z = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |y_{Bi}| + \sum_{i=1}^n |y_{Gi}| \right) / k,$$

где n – количество вершин и впадин, y_{Bi} – высота i -го наибольшего выступа профиля, y_{Gi} – глубина i -ой наибольшей впадины профиля, k – коэффициент вертикального увеличения сигнала.

Среднее арифметическое отклонение профиля:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n – число выбранных точек профиля на базовой длине; y_i – отклонения профиля.

Измеренные значения шероховатости поверхности прокатанных полос равнялись:

- горячекатаный прокат: $R_z = 0,1476$ мкм, $R_a = 0,0379$ мкм;

- холоднокатаный прокат: $R_z = 0,0228$ мкм; $R_a = 0,0127$ мкм.

Для проведения испытаний на глубокую вытяжку использовали универсальную испытательная машина на 0,2 МН с пульсатором 0,1 МН типа МУП-20. Процесс глубокой вытяжки оценивали по следующим параметрам:

- предельному коэффициенту вытяжки (ПКВ), равному отношению наибольшего возможного диаметра заготовки к диаметру пуансона D/d , при вытяжке без складок или разрывов.

- максимальному усилию на пуансоне во время вытяжки стакана при ПКВ.

Средняя толщина заготовки составляла 1,18 мм, диаметры от 100 до 140 мм с шагом 5 мм.

Для глубокой вытяжки стаканов с внутренним диаметром 60 мм использовали два пуансона того же номинального диаметра с радиусом закругления 3 и 6 мм, а также две матрицы с внутренним диаметром 62 мм и радиусами закругления 3 и 6 мм. Фиксированный зазор между пуансоном и матрицей составлял в среднем менее 1,5 мм. Прижим штампа был изготовлен в виде кольца с болтовым креплением к матрице. При этом во время проведения всех экспериментов усилие прижима заготовки к матрице задавали постоянным. Пуансоны, матрицы и прижимы были изготовлены из стали 40X и термически обработаны на твердость HRC 51.

Другой идентичный комплект пуансонов и матриц были изготовлены также из стали 40X и подвергнуты азотированию в тлеющем разряде. Азотирования в тлеющем разряде проводили в устройстве азотирования типа JON-600, используя следующие параметры процесса: температура $T = 520$ °C, вакуумное давление (реактивная атмосфера) $p = 150$ Па, время $t = 15$ часов, состав реакционной атмосферы - смесь, состоящая из 90% N_2 , 5% Ar и 5% H_2 , скорость потока газообразных сред был следующим: 900 мл/мин N_2 + 50 мл/мин Ar + 50 мл/мин H_2 .

Усилие вытяжки измеряли с помощью манометра, смонтированного в испытательной машине. Вертикальное перемещение пуансона измеряли с помощью линейного дифференциального датчика. За нулевую позицию пуансона принимали его положение касания заготовки. Усилие пуансона регистрировали с помощью шкалы силоизмерителя в процессе вытяжки.

Для горяче-холоднокатаных заготовок и для каждой из четырех возможных комбинаций радиусов закругления матриц и пуансонов производили штамповку с увеличением коэффициента вытяжки до тех пор, пока не происходило разрушения дна стакана. Полная серия испытаний была проведена с использованием штампов без азотированного слоя, а затем повторена со штампами с азотированным слоем. Все испытания проводили при комнатной температуре без применения смазки.

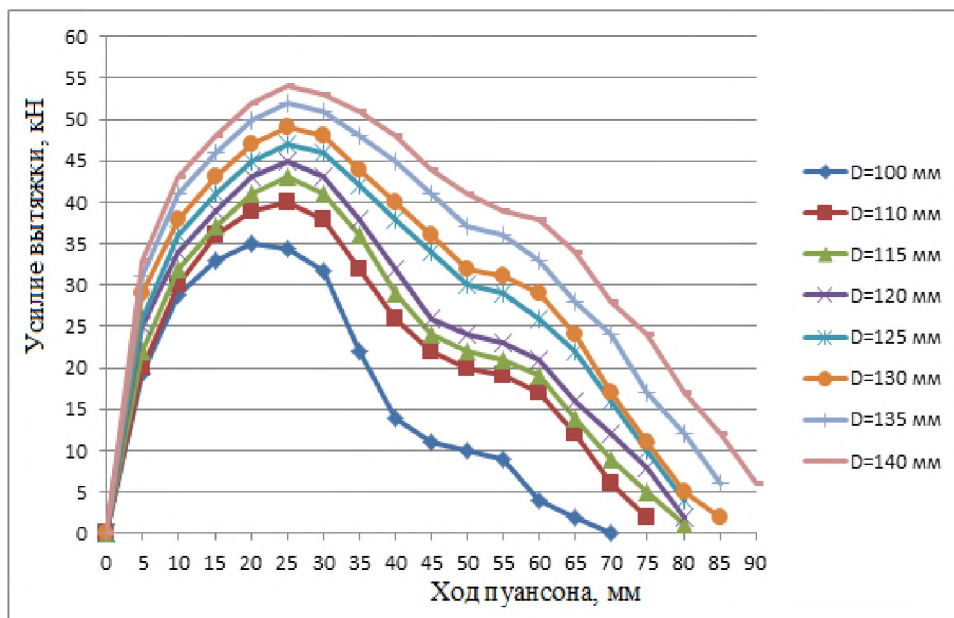
Во всех экспериментах скорость движения ползуна был постоянным и составила 5 мм/с. За критерий качества стакана принимали отсутствие складкообразования на стенках и разрывов. Допускались небольшие морщины в верхней части стакана. Для предотвращения образования складок на стенках стакана необходимо увеличивать давление прижима. Однако при слишком большом давлении затрудняется течение металла внутрь матрицы, что приводит к разрывам из-за увеличения усилия вытяжки, необходимого для преодоления сопротивления сил трения.

В идеальном случае давление прижима вначале должна быть малым и постепенно повышающимся по мере вытяжки стакана для того, чтобы препятствовать образованию складок. Однако осуществить это на используемом оборудовании было невозможно, поэтому эксперименты проводили при постоянном усилии прижима. Каждый эксперимент для проверки воспроизводимости результатов выполняли дважды.

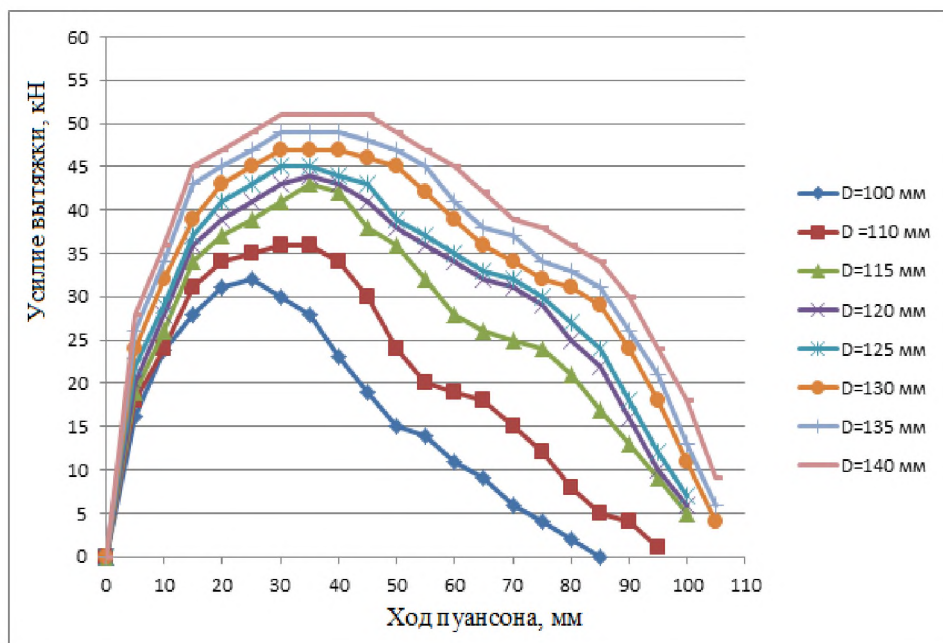
Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 и 2 представлены графики изменения усилия вытяжки для холодно- и горячекатаной заготовки в зависимости от хода пуансона для коэффициентов вытяжки от 1,8 до 2,8 при применении пуансона и матрицы без и с азотированным слоем с радиусами закругления 6 мм. При вытяжке холодно- и горячекатаной заготовки в инструменте без азотированного слоя при коэффициенте вытяжки 2,4 и 2,8 соответственно, наблюдалось разрушение стакана по дну, а при вытяжке в инструменте с азотированным слоем такое разрушение наблюдалось при коэффициенте

вытяжки 2,8 и 3,2 соответственно. Максимально достижимый коэффициент вытяжки холоднокатаной заготовки при использовании пуансонов и матрицы без и с азотированным слоем составил 2,2 и 2,6, соответственно. При этом, соответствующее максимальное усилие вытяжки равнялся, соответственно, 54,4 и 52,1 кН (рис. 1).

Следует отметить, что наибольшее достижимый коэффициент вытяжки горячекатаной заготовки при использовании пуансонов и матрицы без и с азотированным слоем составил 2,6 и 3,0 соответственно, а соответствующее максимальное усилие пуансона равнялся, соответственно, 49,3 и 47,2 кН (рис.2).



а)



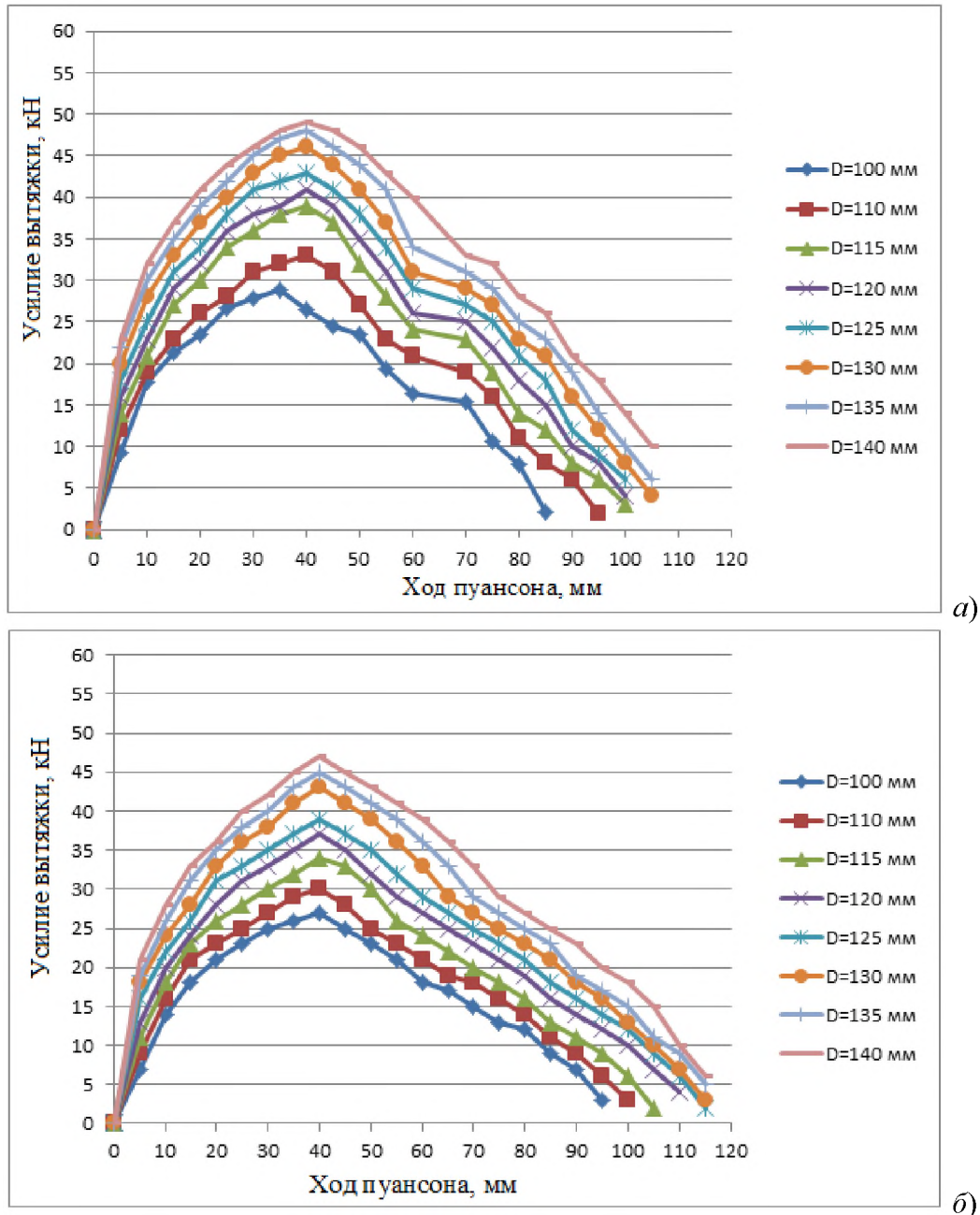
б)

а – штамп без азотированного слоя; б - штамп с азотированного слоя

Рис. 1. График изменения усилия вытяжки в зависимости от хода пуансона при вытяжке холоднокатаной заготовки в азотированном штампе с радиусом закругления пуансона и матрицы 6 мм

При использовании других комбинаций радиусов закруглений пуансона и матрицы графики изменений усилий в зависимости от хода пуансона, имели такую же тенденцию.

Следует отметить, что для каждой заготовки наблюдали вторичный максимум усилия вытяжки, прежде чем оно снижалось до нуля. Этот максимум связан с калибровкой стенки стакана, поскольку более толстый материал заготовки завершающих стадиях вытяжки (обусловленный действием сжимающих напряжений в материале) должен продавливаться через фиксированный зазор между пуансоном и матрицей. Силы трения между заготовкой и инструментом препятствуют плавному течению материала.



а – штамп без азотированного слоя; б - штамп с азотированного слоя

Рис. 2. График изменения усилия вытяжки в зависимости от хода пуансона при вытяжке горячекатаной заготовки в азотированном штампе с радиусом закругления пуансона и матрицы 6 мм

При использовании штампа с азотированным слоем кривая вблизи второго (нижнего) максимума более сглажена. Это связано с уменьшением трения между заготовкой и инструментом с азотированным слоем, что обуславливает более плавное течение материала между пуансоном и матрицей в процессе вытяжки.

При штамповке холоднокатаных заготовок в инструменте с радиусом закругления пуансона 3 мм и матриц с радиусом закругления очка соответственно 3 и 6 мм, максимально достижимые коэффициенты вытяжки составил: 1,98 (2,08) и 2,11 (2,17) (в скобках даны значения для инструмента с азотированным слоем). Данным коэффициентам вытяжки соответствовал следующие максимальные усилия: 58,1 (55,7) и 55,1 (52,7) кН. Штамповка данных заготовок в инструменте с радиусом закругления очка матрицы соответственно 3 и 6 мм и радиусом закругления пуансона 6 мм привел к повышению коэффициента вытяжки до величин: 2,12 (2,18) и 2,2 (2,6). При этом максимальные усилия соответственно равнялся: 56,2 (54,7) и 54,4 (52,1) кН.

Использования пуансонов с радиусом закругления 3 мм и матриц с радиусом закругления очка соответственно 3 и 6 мм для штамповки горячекатаной заготовки максимально привел к достижению следующих коэффициентов вытяжки: 2,05 (2,12); 2,3 (2,7). Данным коэффициентам вытяжки соответствовал следующие максимальные усилия: 54,7 (52,9) и 52,1 (49,7) кН. Увеличения радиуса закругления пуансона до 6 мм при сохранении радиусов закругления очка матриц привел к повышению коэффициентов вытяжки до величин, соответственно, 2,3 (2,7) и 2,6 (3,0), при этом максимальные усилия равнялся: 53,2 (51,7) и 49,3 (47,2) кН.

Сравнивая предельные коэффициенты вытяжки для четырех возможных комбинаций пуансонов и матриц как с азотированным слоем, так и без него можно сделать вывод о том, что предельные коэффициенты возрастают с увеличением радиуса закругления пуансона (с 3 до 6 мм). Это может быть связано с тем, что при увеличении радиуса закругления пуансона растягивающие напряжения в заготовке, огибающей пуансон, меньше, что уменьшает опасность возникновения разрыва в этом углу при вытяжке.

Установлено также, что штампы с азотированным слоем обеспечивают значительно большее значения коэффициентов вытяжки, прирост которых составляет от 3 до 7 %, Это можно связать с уменьшением трения, облегчением течения металла в зазоре между матрицей и пуансоном и снижением вероятности образования разрывов.

Сравнение максимальных усилий вытяжки при различных предельных коэффициентах вытяжки для штамповых инструментов с азотированным слоем и без него при указанных выше комбинациях пуансона и матрицы, показывает, что во всех случаях кривые для инструмента с азотированным слоем расположены ниже, чем кривые для инструмента без азотированного слоя, т.е. требуемые усилия меньше. Это неудивительно, поскольку существенная доля усилия вытяжки затрачивается на преодоление трения.

Полученные результаты показывают, что азотирование пуансонов и матриц существенно повышает предельные коэффициенты вытяжки при комнатной температуре и прочих равных условиях. Наблюдается также значительное уменьшение усилия пуансона, требуемого для глубокой вытяжки стакана в фиксированных условиях. Эти результаты согласуются с результатами работ [1,5,7,9,10], в которых установлена взаимосвязь предельных коэффициентов вытяжки и сил трения между заготовкой и штампом. Обладающий смазывающим действием азотированный слой уменьшает трение при глубокой вытяжке.

Холоднокатаный прокат по сравнению с горячекатаным прокатом имеет большую величину усилий вытяжки и малую величину коэффициента вытяжки. Увеличение усилия и уменьшение коэффициента вытяжки можно объяснить упрочнением холоднокатаного проката во время прокатки и появлением трещин на азотированном слое во время испытаний.

Выводы:

1. Установлено, что холоднокатаная заготовка, прокатанная на многофункциональном продольно-клиновом стане, по сравнению с горячекатаной заготовкой, прокатанной на этом же стане, имеет большую величину усилий вытяжки и малую величину коэффициента вытяжки, при этом сравнительно быстро подвергается разрушению из-за упрочнения во время прокатки и появлением остаточного напряжения после прокатки.

2. Показано, что холоднокатаная заготовка, прокатанная на многофункциональном продольно-клиновом стане, по сравнению с горячекатаной заготовкой, прокатанной на этом же стане, сравнительно быстро подвергается разрушению из-за упрочнения во время прокатки и появлением остаточного напряжения после прокатки;

3. Выявлено, что заготовка без азотированного слоя по сравнению с заготовкой с азотированным слоем имеет большую величину усилий вытяжки и малую величину коэффициента вытяжки.

Список литературы

1. Гилев И.А., Неулыбин С.Д., Панов А.И., Баженов А.М. Сравнительный анализ способов поверхностного упрочнения // Master's Journal. 2014. – С. 19-24

2. Евстратов В. А., Кузьменко В. И. Исследование трения при пластической деформации // Трибология и надежность: сб. науч. трудов 8-й междунар. конф. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2008. – С. 264–269.

3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4т. Т4. Листовая штамповка/Под общ. Ред. С.С. Яковлева – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010. - 732 с.

4. Кузьменко Е. А., Кузьменко В. И., Христофорова Т. А. Факторы, определяющие стойкость штампов холодного выдавливания // Вісник НТУ «ХП». 2016. № 31 (1203). – С. 50 – 56.

5. Моргунов А.П., Удодова А.В., Федоров А.А. Способ повышения износостойкости пуансонов для листовой штамповки // Журнал: Динамика систем, механизмов машин. 2012. №2. – С. 276-279.

6. Многофункциональный продольно-клиновый стан для прокатки листов из сталей и сплавов. / Машеков С.А., Нугман Е.З., Түкібай А.А. и др. // Патент РК № 31750. // Оpubл. 30.12. 2016 г в БИ № 18.

7. О показателях штампуемости автомобильной стали / В. А. Иводитов, М. М. Перкас, А. Е. Шелест и В. Е. Юсупов // Металлы. – 2007. № 4. – С. 54–61.

8. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 479 с.

9. Упрочнение разделительных штампов покрытиями дискретной структуры / Иванов Г.П., Сорока Е.Б., Титов В.А. и др.// Вісник НТУ ХП машинобудування, Вип. 52, Київ, 2008, с. 341-351.

10. Фролов Е. А., Кравченко С. И., Бондарь О. В. К вопросу оптимизации нанесения износостойких покрытий для улучшения эксплуатационных свойств вырубных штампов // Вісник НТУ «ХП». 2013. № 42 (1015). – С. 179 – 182.