

УДК 621.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ ЗАЗОРІВ НА РОЗМІРИ ЗОН ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПЛОСКИХ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК З ФАСКАМИ ПІД ЗВАРЮВАННЯ

В. Л. Хорольський, М. М. Мороз

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vova_men25.ru@inbox.ru

Розглянуті питання впливу величини зазорів на розміри зон деформації при виробництві плоских листових заготовок із фасками під зварювання. Показано, що для правильного проектування штампового оснащення необхідно мати чітке уявлення про механіку процесу відрізання та навантаження, що діють на робочий інструмент, а також необхідно враховувати специфічні вимоги до конструкції штампа з твердих сплавів. Проведені дослідження технологічних особливостей процесу при варіюванні швидкостей відрізання холодного металу. Визначено, що застосування високих швидкостей деформації приводить до якісно нових явищ: зменшення потрібної роботи деформації із зростанням швидкості деформації, що впливає на потужність приводу машини, а також велика точність і якість отримуваних заготовок, що не мають макро- і мікротріщин по торцях, як це спостерігається при відрізанні на звичайних пресах. Визначено оптимальну геометрію пуансона і матриці з точки зору мінімальної роботи, зусилля деформації, найбільшої стійкості і кращої якості отримуваних заготовок.

Ключові слова: штампування, зазори, деформація, листові заготовки, напруження.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРОВ НА РАЗМЕРЫ ЗОН ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛОСКИХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ФАСКАМИ ПОД СВАРКУ

В. Л. Хорольский, Н. Н. Мороз

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vova_men25.ru@inbox.ru

Рассмотрены вопросы влияния величины зазоров на размеры зон деформации при производстве плоских листовых заготовок из фасками под сварку. Показано, что для правильного проектирования штамповой оснастки необходимо иметь четкое представление о механике процесса отрезания и нагрузках, которые действуют на рабочий инструмент, а также необходимо учитывать специфические требования к конструкции штампа из твердых сплавов. Проведены исследования технологических особенностей процесса при варьировании скоростей отрезания холодного металла. Определено, что применение высоких скоростей деформации приводит к качественно новым явлениям: уменьшение потребной работы деформации с ростом скорости деформации, которая влияет на мощность привода машины, а также большая точность и качество получаемых заготовок, которые не имеют макро- и микротрещин по торцам, как это наблюдается при отрезании на обычных пресах. Определена оптимальная геометрия пуансона и матрицы с точки зрения минимальной работы, усилия деформации, наибольшей стойкости и лучшего качества получаемых заготовок.

Ключевые слова: штампование, зазоры, деформация, листовые заготовки, напряжения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Підвищення продуктивності процесу обробки кромки листових деталей під зварювання із застосуванням штампового оснащення і пресового устаткування є важливим виробничим завданням. Проте при цьому залишається проблема стійкості штампового інструменту. При цьому труднощі впровадження більш зносостійких твердосплавних розділових штампів посилюються недостатньою розробкою теорії процесу різання штампами. Більшість твердосплавних відрізних штампів виходять з ладу внаслідок крихкого руйнування – сколювання різальних кромки матриць і пуансонів. Тому вивчення крихкого руйнування різальних кромки штампового інструменту є актуальним.

Крихке руйнування при відрізанні відбувається у випадку, коли в різальній частині матриць і пуансонів виникають напруження, що перевершують межу міцності матеріалу інструменту при повторних ударних навантаженнях. Тому особливої актуальності набувають питання визначення напружень, що виникають у різальній частині матриць і пуансонів, а також навантажень, що діють на різальні кромки в процесі відрізання. Ці навантаження обумовлюються напруженим станом відрізаного матеріалу в зоні дії робочих елементів штампу.

Аналіз попередніх досліджень. Труднощі теоре-

тичного рішення задачі процесу відрізання зумовили проведення великої кількості експериментальних досліджень. Усі дослідники вказують на істотний вплив величини проміжку між різальними елементами на протікання процесу роз'єднувальних операцій як відносно якості виробів і впливу на стійкість штампів, так і відносно витрати енергії. На рис. 1 був приведений процес відрізання з нормальними і занадто малим зазорами, а також показаний характер отримуваної при цьому поверхні зрізу і її дефектів.

У разі нормального зазору між пуансоном і матрицею поверхні зсуву (лінії ковзання), що виникають у різальних кромках пуансона, співпадають з поверхнями зсуву і тріщинами, що виникли у різальних кромках матриці, і утворюють загальну криволінійну поверхню сколювання.

При малій величині зазору поверхні зсуву, що йдуть від кромки пуансона, не співпадають з поверхнями зсуву, що виникли у кромках матриці. У цьому випадку на деталі, яку вірізують, утворюються надрив і подвійний зріз з протягнутою задиркою.

У разі дуже великого зазору на поверхні утворюються рвані задирки від затягування і обривання металу в зазорі. Характер поверхні зрізу залежить від відносної величини зазору і механічних властивостей матеріалу (пластичності).

Визначення величини необхідного зазору є дуже важким, але актуальним завданням. Спроб суто теоретичного рішення цієї задачі немає, і вона вирішується на підставі експериментальних даних.

Думка про те, що існує тільки один оптимальний зазор, є неправильною. Згідно із сучасними дослідженнями [1], є два оптимальні зазори залежно від того, чи надається головне значення чистоті поверхні відрізуваних деталей або можливо меншій витраті зусилля або роботи, що визначають стійкість штамів.

Тому усі експериментальні дослідження роздільних операцій проводяться за двома основними напрямками: по-перше, з метою отримання якісної поверхні зрізу і точності отримуваних деталей і, по-друге, з метою підвищення стійкості інструменту і зменшення енергетичних витрат.

На практиці часто доводиться шукати компромісне рішення, тобто вибирати величину зазору, яка задовольняє якоюсь мірою обом цим вимогам.

Ще у 1937 році В. Т. Мещерін досліджував вплив величини зазору між пуансоном і матрицею відрізного штампу на якість поверхні зрізу і на розміри отвору при вирізанні [2]. Результати цієї роботи були підтверджені подальшими дослідженнями.

Експериментальні дослідження впливу величини зазору на напружено-деформований стан металу при різанні проведені в роботах [3–4]. У роботі [6] дослідження проводилися на зразках, відрізаних по діаметральному перерізу. У площині різання наносилася координатна фотосітка. За результатами вимірів елементів сітки, спотворених внаслідок деформації, були побудовані криві розподілу максимальних зсувів у зоні зазору. Оптимальний зазор визначався найбільш сприятливими умовами для можливості зсуву і сколювання, що забезпечують збіг тріщин випереджаючого руйнування, що йдуть від різальних кромки пуансона і матриці.

Механізм деформації при відрізання в роботі [3] вивчався на зразках з вуглецевої сталі методами координатної сітки, лакових покриттів і методом спостереження ліній ковзання на воронованій поверхні зразків. Вивчення напружень при відрізання обмежувалося якісною стороною. Цими методами вдалося побудувати схему деформацій і напружень у різних зонах зразків (рис. 2), що розрізали.

Мета роботи – кількісні дослідження розмірів зони деформації при відрізання, впливи величини зазорів на розміри зони деформації і т.д.

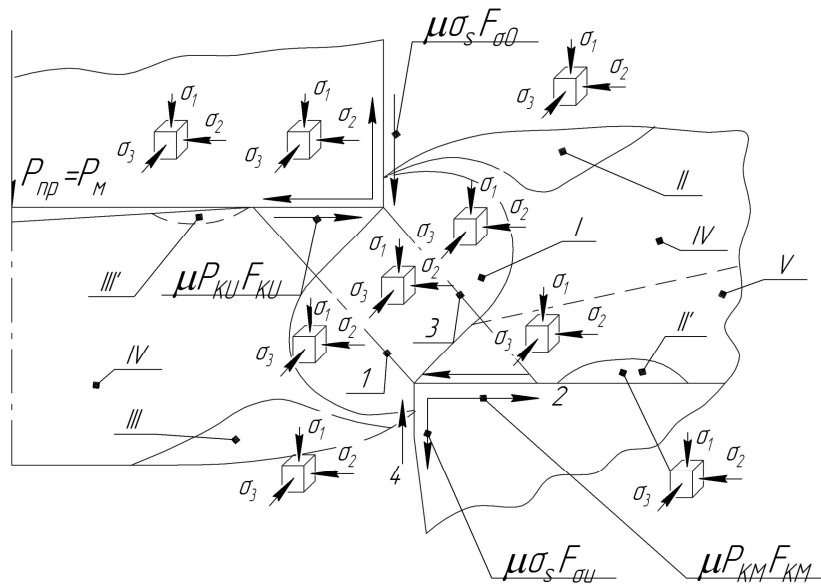
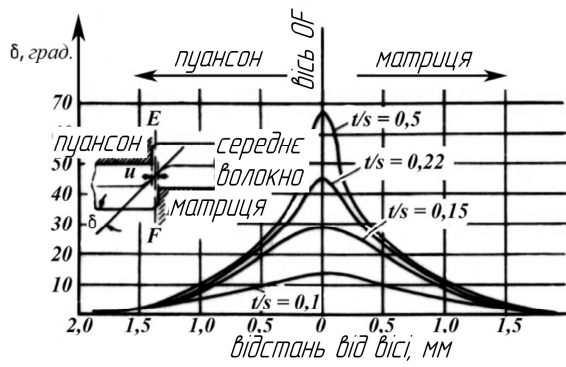


Рисунок 1 – Зони різної схеми напружень при відрізання без притискання (за В. І. Залеським і В. В. Губаревим): I зона – осередок з найбільшими деформаціями, розташований між різальними кромками інструменту; уздовж великої вісі цієї зони відбувається деформації від напружень розтягування, а по малій вісі і в третьому напрямі – деформація стискання; II і III зони розташовані на продовженні великої вісі першої зони в місцях, що підлягають утяжці, у цих зонах має місце схема, яка відповідає деформації від напружень стискання по двох вісях і розтягування по третій; IV зона примикає до поверхні пуансона і має схему усебічного стискання; V зона знаходиться в безпосередній близькості до контактної поверхні матриці; VI зона розташована суміжно із зоною II, яка виходить на верхню поверхню листа; зони V і VI характеризуються стискувальними деформаціями у двох напрямках і деформацією течії в третьому напрямі

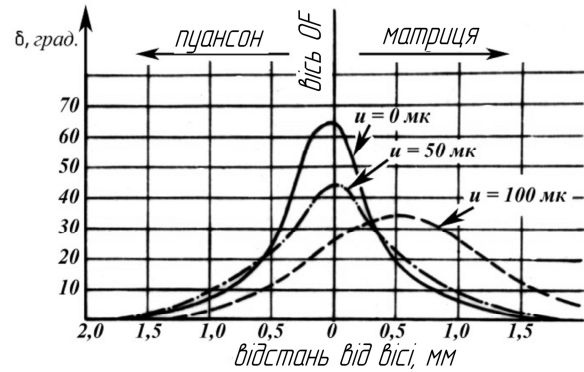
МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Значні експериментальні дослідження процесу відрізання проведені в роботі [5]. Деформований стан вивчався методом координатної сітки. Заготовку розрізали навіпіл, стики шліфували і сапфіровою голкою наносили координатну сітку. На різних стадіях досліду сітку на зразках вимірювали за допомогою оптичного компаратора.

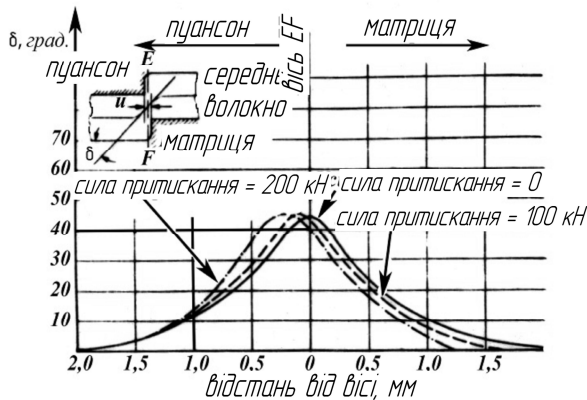
За характеристику деформованого стану брався кут нахилу лінії середнього волокна відносно первинної сітки (рис. 2). У міру протікання процесу різання деформація середнього волокна збільшується і кут δ зростає. Область деформації вже при дуже малому впровадженні, приблизно при $t/S \approx 0,06$, досягає розміру, який залишається постійним при подальшому ході процесу.



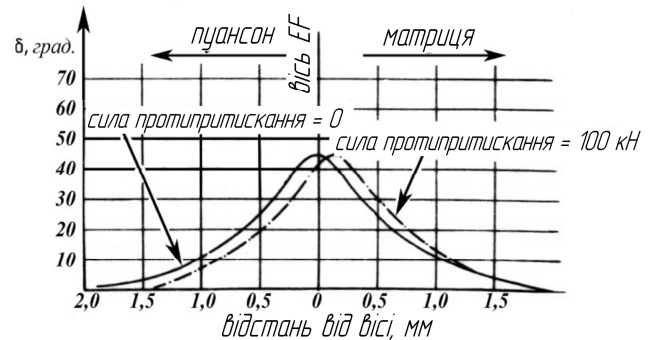
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Залежність деформації середнього волокна δ заготовки з листової сталі *USt 1304* завтовшки 4 мм від відношення глибини впровадження t до товщини S (за Otto Kienzle, Manfred Meyer): а – при різній глибині впровадження, зазор $u = 50$ мкм; б – при різних зазорах, глибина впровадження $t/S = 0,26$; в – при різних зусиллях притискування, $u = 50$ мкм; г – при різних зусиллях протипритискування, $u = 50$ мкм

Для характеристики деформації волокон металу і охопленої його області як координатної вісі прийнята лінія EF , що проходить посередині ділянки, що знаходиться в зазорі між пуансоном і матрицею. Деформація кристалів не завжди протікає симетрично. Вона може зсуватися відповідно до розподілу деформації в зоні різання.

На рис. 2, б видно, що величина зазору визначає не лише положення зони деформацій, але і кут нахилу середнього волокна. Із збільшенням проміжку кут нахилу середнього волокна зменшується, область деформації розширюється, а максимум кривої δ переміщується у бік матриці. Впливають на зону деформації також зусилля притискування і протипритискування. При одночасній їх дії область деформації зменшується.

Через значну холодну деформацію в зоні різання відбувається зміцнення більшості матеріалів. За осередком деформації заготовки зона зміцнення, відповідно, нерівномірна.

Майже усі дослідники відмічають незначну зміну зусилля пробивки–вирубубвання від величини зазору і збільшення роботи різання із зменшенням зазору між різальними елементами штампу [6, 7]. Велика кількість експериментальних досліджень проведена для визначення впливу різних умов різання на зношування різальних кромek штампу.

У даній роботі оцінювали вплив початкової швидкості деформації на точність отримуваних загото-

вок і потрібну роботу деформації.

Вплив швидкісного чинника на точність отримуваних заготовок і потрібну роботу деформації вивчався в роботі [8].

При цьому вимірювалися спотворення розмірів і форм зразка і величина повної роботи деформації. Результати представлені графіками на рис. 3.

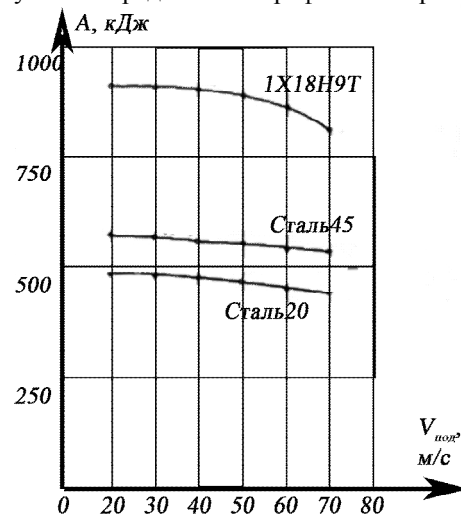
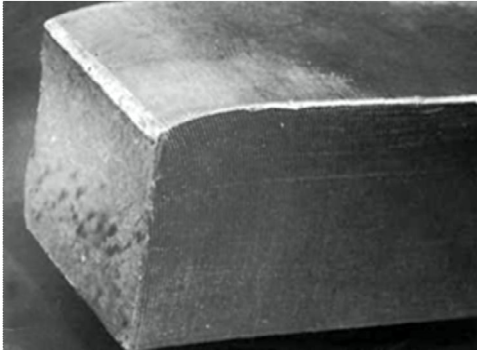
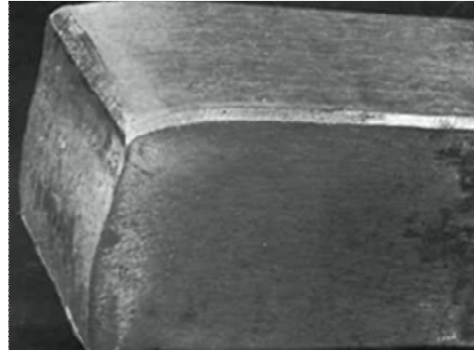


Рисунок 3 – Експериментальна залежність потрібної роботи від швидкості підходу пуансона при відрізання холодного металу

Аналіз отриманих результатів показав, що спотворення перерізу заготовки при імпульсному розкרוюванні практично однаково до швидкостей 45–50 м/с. При великих швидкостях деформації спотворення перерізу менше. Потрібна робота деформації трохи зменшується з підвищенням початкової швидкості деформації в діапазоні швидкостей 12–50 м/с, а в діапазоні 50–70 м/с спостерігається зменшення потрібної роботи деформації, що пояснюється окри-



а)



б)

Рисунок 4 – Заготовки, отримані на імпульсному копрі: а – з притискуванням; б – без притискування

У роботі робився аналіз точності заготовок без притискування, з жорстким притиском, тобто коли первинне зусилля притискування дорівнювало нулю, і при зусиллі притискування, рівному 10 % від зусилля зрізу, але заготовка в процесі її відрізання не деформувалася завдяки притискування. Заготовки, отримані на імпульсному копрі при незмінному зазорі, представлені на рис. 4.

Аналіз результатів показав, що менше спотворення забезпечується при відрізанні з притискуванням і що для досягнення мети досить докласти зусилля, рівне 10 % від зусилля різання.

Аналіз зрізів заготовок, отриманих при імпульсному відрізанні із зусиллям притискування, рівним 10 % від зусилля різання і з жорстким притискуванням показує, що відмінності у якості зрізу практично не спостерігається.

Таким чином, для забезпечення якості зрізу можна рекомендувати відрізок з жорстким притискуванням і відрізання з притискуванням заготовки зусиллям, рівним 10 % від зусилля зрізу.

Для проведення досліджень впливу форми профілю робочого інструменту на точність отримуваних заготовок застосовувалися змінні пуанسونи з прямою різальною кромкою і похилою з кутом нахилу 1° , 3° .

З'ясовано, що застосування пуансонів з похилою різальною кромкою зменшує точність отримуваних заготовок за рахунок того, що похилою частиною підминає основну і відрізувану заготовку.

Дослідження проводилися при швидкості пуансона 10 м/с (зміна швидкості не перевищувала 1 %) і постійному зазорі, рівному 0,6 мм.

Аналіз досліджень, що проводяться, показав, що форма робочого профілю ножів (пуансона і матриці) практично не впливає на максимальне зусилля різання і спотворення форми заготовки.

хчуванням матеріалу при великих швидкостях навантаження.

Проаналізуємо вплив зусилля притискування заготовки на точність отримуваних заготовок. Відомо, що точність заготовок залежить від зусилля притискування і із збільшенням сили притискування площина зрізу (розподіл) стає перпендикулярною до вісі заготовки.

Дослідження показали, що чим більший час відрізувана заготовка знаходиться у контакті з різальним інструментом, тим більше буде його знос. Тому раціональною формою робочою профілю пуансона і матриці слід вважати пару, при якій потрібно мінімальну роботу деформації при відрізанні заготовки.

Якість поверхні зрізу при швидкісному відрізанні.

Під якістю при відрізанні заготовок розуміють отримання заготовок з достатньою чистотою зрізу, без задирів, за відсутності макро- і мікро- тріщин. Чистота поверхні зрізу характеризується висотою гребінців.

З метою з'ясування особливостей відрізання був проведений порівняльний аналіз чистоти поверхні по висоті гребінців.

Візуальний контроль поверхні зрізу показав, що чистота по висоті зрізу неоднакова. На основній і відрізній заготовках у верхній частині, в нижній – на вирізуваній спостерігається «блискучий поясок» заввишки 0,1–0,15 висоти заготовки і по чистоті наближається до чистоти робочих кромek інструменту (рис. 5). Виміри висоти гребінців проводилися на мікроскопі МИМ–7.

Вуглецева сталь (Сталь 45) практично не виявляє цього впливу. Максимальний вплив спостерігається для високоміцних сталей. Тут має місце деяке погіршення чистоти поверхні із збільшенням початкової швидкості пуансона. Висота гребінців при статичному відрізанні складає приблизно 0,1 мм, а при імпульсному відрізанні – 0,15–0,2 мм. Слід зазначити, що вказане погіршення якості поверхні не критичне при обробленні кромek заготовок під наступне зварювання.

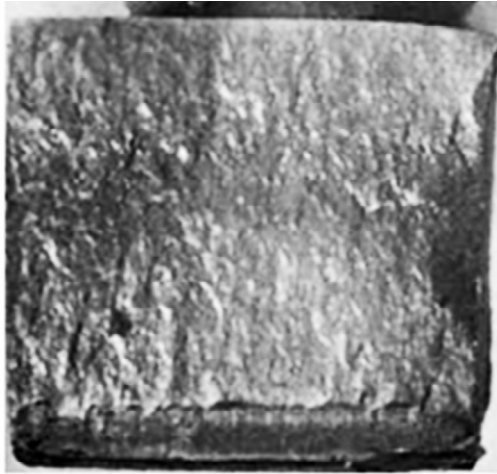


Рисунок 5 – Поверхня зрізу

Аналіз результатів випробувань зразків на твердість свідчить про те, що поблизу площини зрізу для заготовок, оброблених при високих швидкостях різки, твердість по висоті зразка практично не міняється, а для заготовок, отриманих на пресі, спостерігається збільшення твердості з боку підкладного ножа.

При порівнянні твердості заготовок, отриманих різними методами, видно, що ширина зони з підвищеною твердістю значно більше у заготовок, що отримуються на пресі.

Проведення експериментальних і технологічних досліджень процесу підготовки кромки під зварювання також дали можливість оцінити продуктивність процесу і порівняти з існуючими способами у виробництві.

Аналізуючи способи оброблення кромки, видно, що продуктивність процесу залежить від машинного часу, оскільки воно значно більше допоміжного. Якщо врахувати, що в процесі механічного оброблення операційний час значно більший, чим при штампуванні, то з цієї точки зору новий технологічний процес може вважатися конкурентоздатним.

Проведений порівняльний аналіз зростання продуктивності не повністю відбиває переваги кромкоутворення за допомогою спеціальних штампів і пресового устаткування.

Усі розглянуті методи мають один істотний недолік – відхід металу. Наприклад, при анодно-механічному різанні і різанні вулканітовими кругами відходи взагалі не можна використовувати для вторинної переробки, оскільки відходи представляють металевий пил в суміші з абразивом або рідким склом. Оброблення кромки в штампі не має цих небажаних явищ, що є основною перевагою самого методу.

Проведені дослідження показали, що для сталевих листів кромкоутворення може бути проведено інструментом, виготовленим з високоміцної сталі.

Сліди зношування різальних кромки при різанні сталей з'являються після 300–400 різів, причому, радіус, що з'являється, практично не впливає на якість отримуваних заготовок, а при цьому зростає тільки робота деформації.

Досліди проводилися без змащування різальних кромки інструменту.

Досліди, проведені зі змащуванням різальних кромки, показали, що це може привести до зменшення зношування за рахунок зменшення контактної тертя на різальній кромці. Проте це питання у рамках даної роботи не досліджувалося і вимагає окремого опрацювання.

ВИСНОВКИ. Проведені дослідження технологічних особливостей процесу при варіюванні швидкостей відрізання холодного металу дозволяють зробити висновок, що застосування високих швидкостей деформації приводить до якісно нових явищ: зменшення потрібної роботи деформації із зростанням швидкості деформації, що впливає на потужність приводу машини, а також велика точність і якість отримуваних заготовок, що не мають макро- і мікротріщин по торцях, як це спостерігається при відрізання на звичайних пресах.

Дослідження дозволили визначити оптимальну геометрію пуансона і матриці з точки зору мінімальної роботи, зусилля деформації, найбільшої стійкості і кращої якості отримуваних заготовок.

Дослідження процесу кромкоутворення холодного металу на пресах показали, що новий технологічний процес має безперечні переваги перед фрезеруванням, характеризується хорошим зрізом і точністю заготовок, високою продуктивністю при достатній стійкості ножів і може бути рекомендований для впровадження в промисловість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кайзер Э. Вырубные, гибочные и вытяжные штампы. – М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1961. – 395 с.
2. Мещерин В.Т. Влияние зазора между пуансоном и матрицей вырезного штампа на поверхности среза и на размеры самой вырезки и отверстия // Вестник машиностроения. – 1937. – № 7–8. – С. 86–98.
3. Залесский В.И., Губарев В.В. Механизм деформации при резке листового металла в штампах // Технологические процессы обработки стали и сплавов. – М.: Металлургия, 1955. – С. 409–452.
4. Недорезов В.Е., Жвик И.М. Расчет усилий съема и проталкивания при вырубке – пробивке толстолистового материала // Пластическая обработка металлов: Труды ЛПИ. – 1965. – № 260. – С. 54–68.
5. Otto Kienzle, Manfred Meyer (1963), Verfahren zur Erzielung glatter Schnittflächen beim vollkantigen Schneiden von Blech, VS Verlag, pp.120.
6. Biegel J.E. (1962), Punch-die clearance-their effects on stamping forces, Tool Mfg. Engr., vol. 48, pp. 97–103.
7. Allingham Leonard R. (1964), Check your die clearances, Mach. and Tool Blue Book, no. 6, pp. 59.
8. Лисин А.Г. Экспериментальная проверка зависимости напряжений на режущей кромке штампа от величины зазора // Кузнечно-штамповочное производство. – 1965. – № 9. – С. 23–24.

INVESTIGATION OF CLEARANCE ON THE SIZE OF DEFORMATION ZONES PRODUCTION OF FLAT SHEET BLANKS WITH BEVELED FOR WELDING

V. Khorolskyi, N. Moroz

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vova_men25.ru@inbox.ru

The paper deals the influence of the size of the gaps in the deformation zones in the manufacture of flat sheet blanks with chamfers for welding. It is shown that for the proper design of die tooling necessary to have a clear understanding of the mechanics of the process of cutting and loads that act on the working tool, and should take into account specific requirements for the design of the stamp of hard alloys. Investigations of the technological features of the process by varying the velocity of cold metal cutting. Determined that the use of high-speed deformation leads to a qualitatively new phenomena: reduce the need of work strain with increasing strain rate, which affects the driving power of the machine, as well as greater accuracy and quality of the pieces that do not have the macro- and micro-cracks at the ends, as observed during cutting on conventional presses. The optimal geometry of the punch and matrix in terms of the minimum work force deformation, the highest durability and a better quality of the workpieces.

Key words: punching, clearances, deformation, blanks, voltage.

REFERENCES

1. Kaizer, E. (1961), *Vyirubnyie, gibochnyie i vytyazhnyie shtampy* [Punching, bending and drawing dies], GNTI mashinostroitelnoy literatury, Russia.
2. Meshcheryn, V.T. (1937), "Influence of gap between the punch and the die on the die cut-out and the cut surface of the cut and dimensions of the holes", *Vestnik mashinostroeniya*, no. 7–8, pp. 86–98.
3. Zalesskyi, V.I., Gubarev, V.V. (1955), *Mehanizm deformatsii pri rezke listovogo metalla v shtampah* [Deformation mechanism for cutting sheet metal dies], Metallurgy, Moscow, Russia.
4. Nedorezov, V.E., Zhvik, I.M. (1965), "Calculation removal efforts and push with cutting - punching plate material", *Plastic processing of metals, Trudy LPI* no. 260, pp. 54–68.
5. Otto Kienzle, Manfred Meyer (1963), *Verfahren zur Erzielung glatter Schnittflächen beim vollkantigen Schneiden von Blech*, VS Verlag, pp.120.
6. Biegel J.E. (1962), *Punch-die clearance-their effects on stamping forces*, *Tool Mfg. Engr.*, vol. 48, pp. 97–103.
7. Allingham Leonard R. (1964), *Check your die clearances*, *Mach. and Tool Blue Book*, no. 6, pp. 59.
8. Lysyn, A.G. (1965), "Experimental verification of the dependence of the stresses on the cutting edge of the stamp on the gap", *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, no. 9, pp. 23–24.

Стаття надійшла 27.02.2015.