

621.7(07)
М54

УСТАНОВА



МАШИНОБУДІВНИ

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 1.2

на тему:

**“Випробування листових матеріалів
методом видавлювання”**

з дисципліни:

**“Технології та обладнання обробки і
зварювання деталей тиском”**

Тернопіль, 2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 1.2

на тему:

**“Випробування листових матеріалів
методом видавлювання”**

з дисципліни:

**“Технології та обладнання обробки і
зварювання деталей тиском”**

Для практичних робіт і самостійної роботи студентів
всіх форм навчання та дистанційної освіти

Призначена для здобувачів вищої освіти
освітнього рівня – бакалавр
за спеціальністю 131 – “Прикладна механіка”

Тернопіль, 2023

Методичні вказівки розроблені відповідно до освітньої програми та навчального плану підготовки здобувачів вищої освіти, освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Укладачі: д.т.н., проф. Василь ВАСИЛЬКІВ
к.т.н., доц. Дмитро РАДИК
к.т.н., доц. Лариса ДАНИЛЬЧЕНКО
викладач Христина РАДИК

Рецензент: к.т.н., доц. Ігор ЯРЕМА

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Дмитро РАДИК

Методичні вказівки розглянуті та схвалені на методичному семінарі кафедри інжинірингу машинобудівних технологій.

Протокол № 12 від 08.07.2023

Методичні вказівки рекомендовано до друку науково-методичною комісією ФМТ.

Протокол № 1 від 31.08.2023

1 Мета роботи

Ознайомлення із методами випробування листа та стрічки методом видавлювання, з методикою проведення випробувань та вибору зразків, а також будовою та принципом роботи обладнання.

2 Теоретичні відомості

Основною вимогою, що ставиться до матеріалів, які використовують на виготовлення деталей у штампах, є їхня придатність до штампування й наступної експлуатації. Виявлення цієї придатності матеріалу до тієї або іншої штампувальної операції є досить складним й вимагає проведення ряду випробувань, основними з яких є наступні:

1. Загальні: установлення форми, розмірів і стану поверхні листа.
2. Хімічні: визначення складу й опору корозії.
3. Металографічні: дослідження макро- і мікроструктури.
4. Механічні: визначення твердості, границі текучості, тимчасового опору розриву, відносного видовження й звуження, а також модуля зміцнення.
5. Технологічні: виявлення властивості металу до пластичної деформації.

2.1 Зовнішній вигляд, форма й розміри листового матеріалу

За формою, розмірами і допусками листовий і стрічковий матеріал повинен задовольняти норми відповідних стандартів на сортамент даного матеріалу.

Залежно від характеру операцій листового штампування вимоги, що ставляться до форми й розмірів матеріалу, є різними. Так, до матеріалів, призначеним для витяжних робіт, застосовуються більш складніші вимоги до рівномірності по товщині й до допуску на товщину.

Поверхня матеріалу при візуальному огляді повинна бути зовсім гладкою, чисто прокатоною, без складок, задирів, грубих подряпин, тріщин, раковин, розшарувань ті ін. Крім того, вона повинна бути зовсім вільною від іржі, окалини й усіляких вкраплень або неметалічних включень не тільки до штампування, але й після нього.

2.2 Хімічний аналіз листового матеріалу

Хімічний аналіз є одним із засобів перевірки придатності матеріалу для листового штампування. При хімічному аналізі встановлюється число й процентний вміст окремих елементів у металі, передбачене ГОСТ або ДСТУ. Відповідний хімічний склад матеріалу є важливою умовою забезпечення високоякісних штампованих деталей.

До хімічних досліджень відноситься також випробування матеріалу на опірність корозії, мірою якої є втрата ваги металу на один квадратний сантиметр його поверхні в певнім середовищі за деякий проміжок часу.

2.3 Металографічні дослідження

Хімічним склад матеріалу й стан поверхні листа не дають ще уявлення про всі його якості як матеріалу, придатного для листового штампування.

Для визначення придатності матеріалу до пластичного деформування важливе значення має металографічне дослідження (макро- і мікроструктура).

Дослідження макроструктури дозволяє виявити в металі волокнистість, усадочні раковини, шорохуватість, порожнечі, тріщини, шлакові включення, а також установити характер поверхні зрізу при вирубуванні, напрямок волокон при гнутті, витяжці й інших операціях, наявність розривів і тріщин, що почалися.

Дослідження мікроструктури є більше універсальним засобом визначення придатності матеріалу для штампування. Воно

встановлює характер структури (рівноосність і рівномірність зерен), розмір зерен, перліту (пластинчастий, зернистий) і т.д.

Найсприятливішою структурою сталі, що забезпечує високу її пластичність при штампуванні, є феритна структура або структура фериту й зернистого перліту. Пластинчастий перліт хоча деформується задовільно, але при штампуванні дає гірші результати, чим зернистий. Вуглець, що перебуває в листовій сталі, у вигляді вільного цементиту (Fe_3C) є шкідливою структурною складовою і негативно впливає на витяжні властивості металу.

Структурно вільний цементит листовій сталі оцінюється по ГОСТу 5640-68, залежно від величини його включень по шестибальній шкалі при збільшенні в 500 разів.

Одним з найважливіших факторів, що визначають придатність матеріалу до тієї або іншої штампувальної операції, є розмір зерна, що впливає на пластичність і на стан поверхні заготовки. Розмір зерна окремих структурних складових металу оцінюється по балах шляхом порівняння з мікрофотографіями, прикладеними до відповідних нормативних документів.

Метали з дуже дрібним або крупним зерном мають низьку пластичність на витяжних операціях. Грубозерниста структура матеріалу, крім цього, приводить до утворення шорсткуватої поверхні відштампованої деталі.

Розмір зерна в значній мірі впливає й на механічні якості матеріалу й виготовлення деталі. Грубозернистий метал має меншу міцність і твердість в порівнянні з дрібнозернистим.

Мікроструктура тонколистової сталі регламентується на основі ГОСТу 5639-82 по восьмибальній шкалі при збільшенні в 100 разів.

Якість виробів також зв'язана зі схильністю листової сталі до утворення на її поверхні при штампуванні ліній зрушення, що представляють собою шорсткість у вигляді променів і звивин. Для запобігання появи подібних дефектів тонколистова сталь піддається невеликому обтисненню (дресируванню) – близько 2% шляхом холодного прокатування на багатовалкових станках. При цьому щоб

уникнути повторного старіння, прокатування повинно здійснюватися безпосередньо перед витягуванням, так щоб інтервал часу між операціями був не більше 24 год.

Останнім часом для автомобільних кузовів набула застосування нестаріюча (стабілізована) сталь, розкислена алюмінієм категорії ОСВ і СВ (ГОСТ 9045-93). Її основною перевагою є те, що вона здатна надовго зберігати ефект процесу прокатування, без старіння металу.

2.4 Механічні властивості

Найпоширенішими видами випробувань для визначення механічних властивостей металу є випробування на розтягання і на твердість.

Випробування на розтягання.

У практиці механічних випробувань встановлено ряд загальноприйнятих характеристик матеріалу, одержуваних при його розриві розтяганням.

До числа найбільш важливих характеристик матеріалу, що визначають його придатність для листового штампування, ставляться показники міцності (границя текучості σ_T , тимчасовий опір розриву σ_E , опір розриву S_B), показники пластичності (відносне подовження δ , відносне звуження ψ , відносне подовження e , повне відносне подовження $e_{нов}$, деформація в стійкій зоні розтягання – рівномірна деформація – ψ_e і e_e) і пов'язаної з ними твердості, а також модуль зміцнення Π . Чим більше значення ψ , e , $e_{нов}$, e_e , ψ_e тим вище коефіцієнт штампування металу. Чим більше Π , тим більшою схильністю до зміцнення володіє метал.

Випробування на твердість.

Ці випробування проводяться для визначення міцнісних характеристик металу σ_m і σ_e . Випробування на твердість проводиться за допомогою спеціальних приладів за способами Бринеля, Роквелла і Віккерса.

Випробування способом по Бринелю (*НВ*) піддається листовий метал товщиною не менше 2 мм, так як при більш тонких металах на результат випробувань досить вагомо впливає твердість підставки самого приладу.

На приладі Роквелла можна досліджувати листовий метал не тонше 0,5 мм, якщо випробування проводяться кулькою з діаметром 1,59 мм (шкала *B* для м'якого металу), і не тонше 0,8 мм, якщо випробування проводяться алмазним конусом з кутом $120 \pm 1,5^{\circ}$ ($2/3 \pm 1/120\pi$ рад) (шкала *C* для твердого металу).

Для випробування на твердість тонких листів товщиною від 0,15 мм і вище використовують прибор Вickers (*HV*).

Для отримання даних про твердість матеріалу товщиною менше 0,15 мм використовують методи випробувань так званих малих навантажень і на мікротвердість.

2.5 Технологічні властивості

Механічні випробування, металографічні дослідження, хімічний аналіз листового металу не можуть дати вичерпну характеристику його придатності до формозмінних операцій.

Повніше представлення про придатність металу для штампування може бути отримано технологічними випробуваннями (пробами), під якими розуміється виявлення здатності металу піддаватися пластичним деформаціям, аналогічним тим, які він випробовує в процесі технологічної обробки.

Найпоширенішими технологічними випробуваннями є наступні:

- випробування на зріз – для операцій вирубування;
- випробування на перегин – для операцій згинання;
- випробування на глибину витягування – для операцій витягування.

Випробування на зріз. Випробування на зріз має на меті точніше встановити опір випробуваного матеріалу роз'єднанню – зрізу штампувальним вирубним (пробивним) інструментом. Це

випробування здійснюється на звичайній універсальній випробувальній машині (або краще на пресі Гагаріна), на якій установлюється спеціальний експериментальний вирубний штамп.

Випробування на перегин. Таке випробування в основному служить для визначення здатності металу піддаватися згинанню й застосовується для листового металу товщиною не більше 6 мм.

Сутність цього випробування полягає в тім, що відрізаний від листа або стрічки зразок затискають у щоках спеціальних лещат або приладу й перегинають в одному й в іншому напрямках на 90° ($\pi/2$ рад). Допускається не більше 60 перегинів у хвилину (за один перегин вважається загин на 90° і розгин на 90°). Загальне число перегинів вказується в технічних умовах на матеріал. Радіус закруглення губок вибирається залежно від товщини матеріалу й становить 2, 4, 6, 8 і 10 мм. Ознакою придатності матеріалу після виконання заданого числа перегинів служить відсутність у місці перегину розшарувань, відшаровувань, надривів, тріщин і зламу.

Випробування на глибину витягування. Для визначення придатності до витягувальних операцій листового штампування застосовують три основні види випробувань: випробування на глибину видавлювання сферичної лунки, випробування на глибину витягування стаканчика і розтягування отвору.

Як стандартне випробування і обов'язкове при вхідному контролі та прийманні листового матеріалу встановлено випробування на видавлювання сферичної лунки на приладі Єриксена.

Суть полягає в тому, що в квадратній чи круглій заготовці, розміром 30×30 або 70×70 мм, вирізаної із випробовуваного матеріалу, яка вставлена до упору і сильно затиснута, видавлюється пуансоном сферична лунка.

На приладі Єриксена поява тріщин фіксується на дзеркальці, встановленого на корпусі приладу.

В табл. 1 наведено залежності глибини видавлювання сферичної лунки від товщини для різних матеріалів.

Таблиця 1 – Глибина видавлювання сферичної лунки на пристрої Ериксона в мм.

Матеріал	Глибина видавлювання залежно від товщини матеріалу S , мм									
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	
Латунь Л68	13,0	13,2	13,5	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8	15,0	
Латунь Л62	11,0	11,2	11,5	12,0	12,2	12,4	12,6	12,8	13,0	
Мідь М1, М2 та М3	12,0	12,2	12,5	13,0	13,2	13,4	13,6	13,8	14,0	
Сталь для автомобільних кузовів:										
ОСВ	-	-	10,6	11,2	11,5	11,8	12,0	-	-	
СВ	-	-	10,5	10,8	11,2	11,4	11,5	-	-	
Сталь 05кп	ВГ	9,0	9,4	10,0	10,5	11,0	11,3	11,6	11,9	12,1
08кп										
08пс										
10кп										
Сталь 05кп	Г	8,4	8,9	9,5	10,1	10,6	11,0	11,4	11,7	11,9
08кп										
08пс										
10кп										
Сталь 05кп	Н	8,0	8,5	9,3	9,9	10,4	10,8	11,2	11,5	11,8
08кп										
08пс										
10кп										

Випробування на глибину видавлювання сферичної лунки має ряд недоліків: воно не є повним відображенням процесу витягування. Це пояснюється тим, що між випробуванням по Ериксону і операцією витягування існує лише зовнішня схожість, в той час як напружено-деформівний стан при таких процесах зовсім різний. При видавлюванні сферичної лунки матеріал в зоні деформації піддається дії радіальних і тангенціальних розтягуючих напружень, а при витягуванні – радіального розтягу і тангенціального стиску.

Випробування на глибину витягування сферичної лунки порівняно добре моделює процес витягування тільки при штампуванні сферичних, параболічних та інших подібних деталей, а також при гідравлічному витягуванні.

3 Методика випробування витяжних властивостей листових матеріалів.

ГОСТ 10510-80 (СТ СЄВ 478-77, ИСО 8490-86) встановлює метод випробування на видавлювання листів і стрічок товщиною від 0,1 до 2,0 мм і шириною 13 мм і більше при температурі $20^{\circ}\text{C}_{-10}^{+15}$.

Метод полягає у вдавлюванні сферичного пуансона в дослідний зразок, затиснутий між матрицею і притискним кільцем, до початку утворення на видавлюваній лунці тріщини і зміни глибини лунки.

3.1 Методи відбору зразків

Для проведення випробувань використовують зразки у вигляді стрічки.

Для проведення випробувань також використовують зразки у вигляді квадрата або круга відповідних розмірів.

При товщині листа від 0,1 до 0,2 мм і шириною 30 мм і більше використовують зразки шириною 30_{-1} мм.

Зразки повинні відбиратися способами, які виключають можливість впливу нагрівання або наклепування.

Довжина зразка повинна забезпечувати видавлювання необхідної кількості лунок (не менше трьох) з відстанями між центрами лунок не менше 55 мм – при ширині стрічки 90 мм. При ширині стрічки або листа 90 мм і більше, відстань центру лунки від краю зразка повинна бути не менше половини відстані між центрами лунок.

Відстань від центра лунки до краю зразка повинна бути рівна: $\frac{1}{2}$ ширини зразка – при ширині зразка не більше 90 мм і не менше 45 мм – при ширині зразка 90 мм і більше.

Кількість зразків для випробування, місце відбору і кількість лунок на зразку встановлюють в нормативно-технологічній документації на продукцію.

3.2 Обладнання

3.2.1. Обладнання для випробування на видавлювання листів і стрічок повинно забезпечувати зміну глибини вдавлювання пуансона з похибкою не більше 0,1 мм.

3.2.2. Обладнання повинно забезпечувати притискання зразка з постійним зусиллям і мати приспособлення для зміни зусилля притискання і видавлювання з допустимою похибкою не більше $\pm 5\%$ від вимірювальної величини, починаючи від 0,04 найбільшого зусилля, яке можна отримати на даному обладнанні.

3.2.3. Обладнання повинно забезпечувати можливість ручного зупинення процесу видавлювання лунки, автоматичну фіксацію глибини лунки в момент зменшення зусилля видавлювання і при появі наскрізної тріщини на зразку в робочому діапазоні зусилля видавлювання.

Автоматизація моменту зупинки випробування при появі наскрізної тріщини допускається, наприклад, необхідним запізненням моменту відхилення приладу після початку різкого зниження зусилля видавлювання. В цьому випадку регулятор швидкості переміщення пуансона повинен мати регульовані фіксатори мінімальної і максимальної робочих швидкостей.

3.2.4. Пуансон під час випробування не повинен обертатися.

3.2.5. Неспіввісність осі пуансона відносно осі матриці на довжині робочого ходу (до 2 мм) не повинна перевищувати 0,1 мм.

3.2.6. Контакт пуансона із зразком повинен проходити без удару.

3.2.7. Прилад повинен забезпечувати плавне видавлювання лунки.

3.2.8. Номінальні розміри, допустимі відхилення розмірів і шорсткість поверхні пуансонів, матриць і притискних кілець повинна відповідати рис.1.

На робочих поверхнях не повинно бути рисок, вм'ятин та інших видимих дефектів.

Відхилення від площинності притискних поверхонь матриць і притискного кільця допускається не більше 0,01 мм.

3.2.9. Твердість робочих поверхонь матриць, притискних кілець і пуансонів повинна бути не менше НВ 750.

3.3 Підготовка до випробувань

3.3.1. Перед випробуваннями оглядають зразки.

Зразки не повинні мати впадин і зігнутих країв, які не дозволяють правильно встановити зразок в дослідному приладі, і повинні бути чистими і без змащення.

Правлення зразків в холодному і гарячому стані, термооброблення, а також додаткове оброблення поверхні зразків не допускається.

Рулонний матеріал випробовують без попереднього випрямлення зразка, встановлюючи на робочу поверхню приладу випуклістю до пуансона, якщо немає інших вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

3.3.2. Зразки вимірюють не менше чим в трьох місцях з підрахунком середнього розміру:

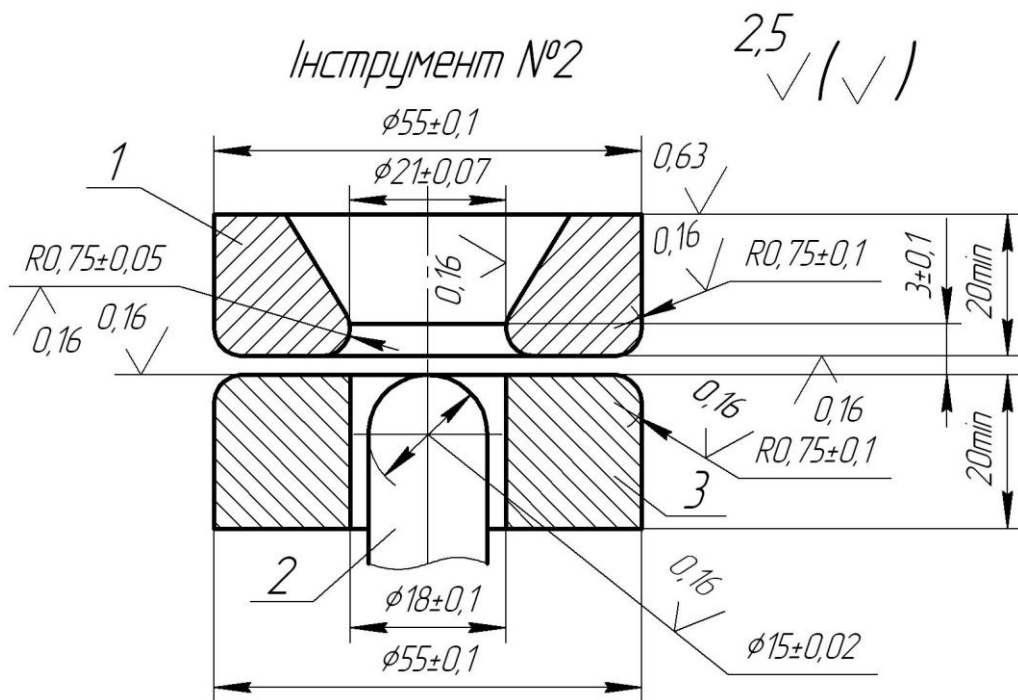
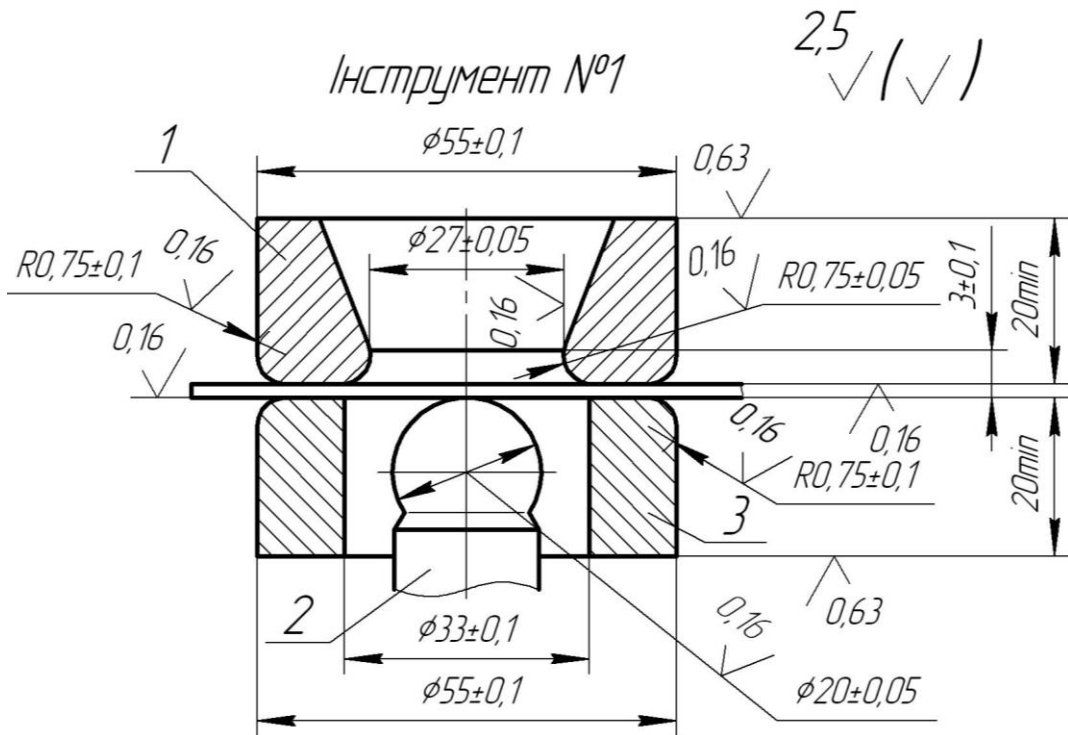
по ширині – з похибкою не більше 1,0 мм;

по товщині – з похибкою не більше 0,01 мм.

Вимірювання проводять не менше чим в трьох місцях і визначають середнє арифметичне значення всіх вимірювань.

3.3.3. Перед випробуванням обидві сторони зразка змазуються тонкою плівкою графітного мастила УСсА по ГОСТ 3333-55.

Використання інших видів змащування допустимо згідно нормативно-технічної документації.



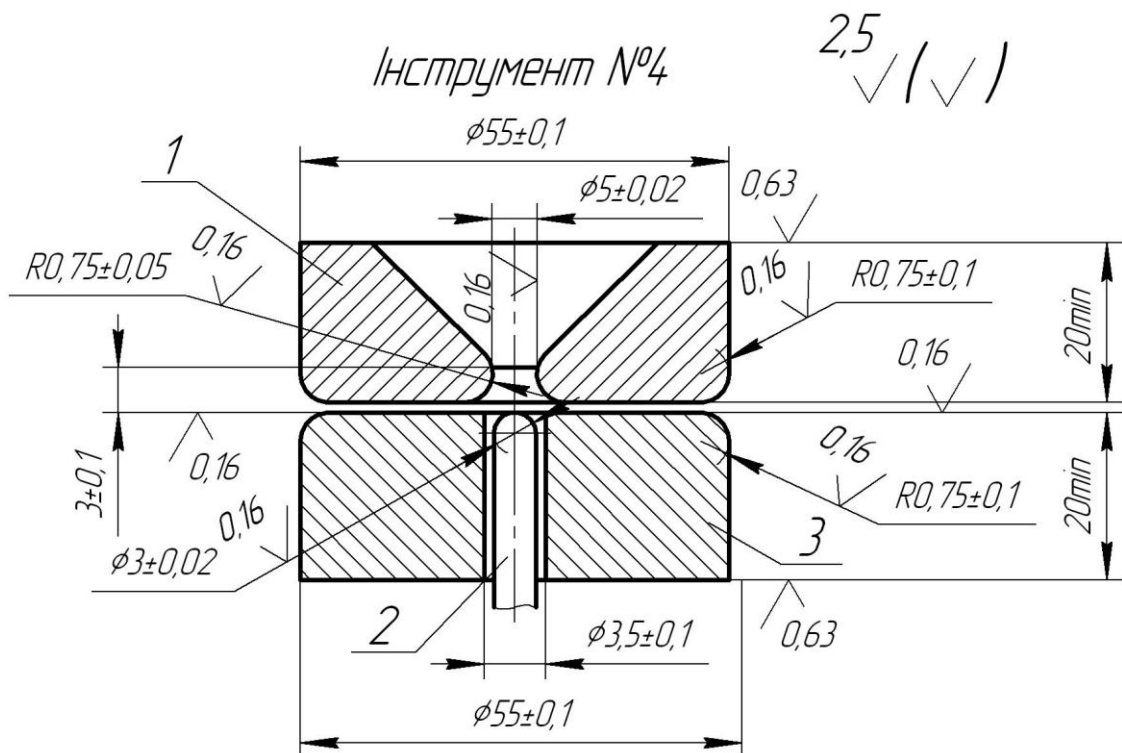
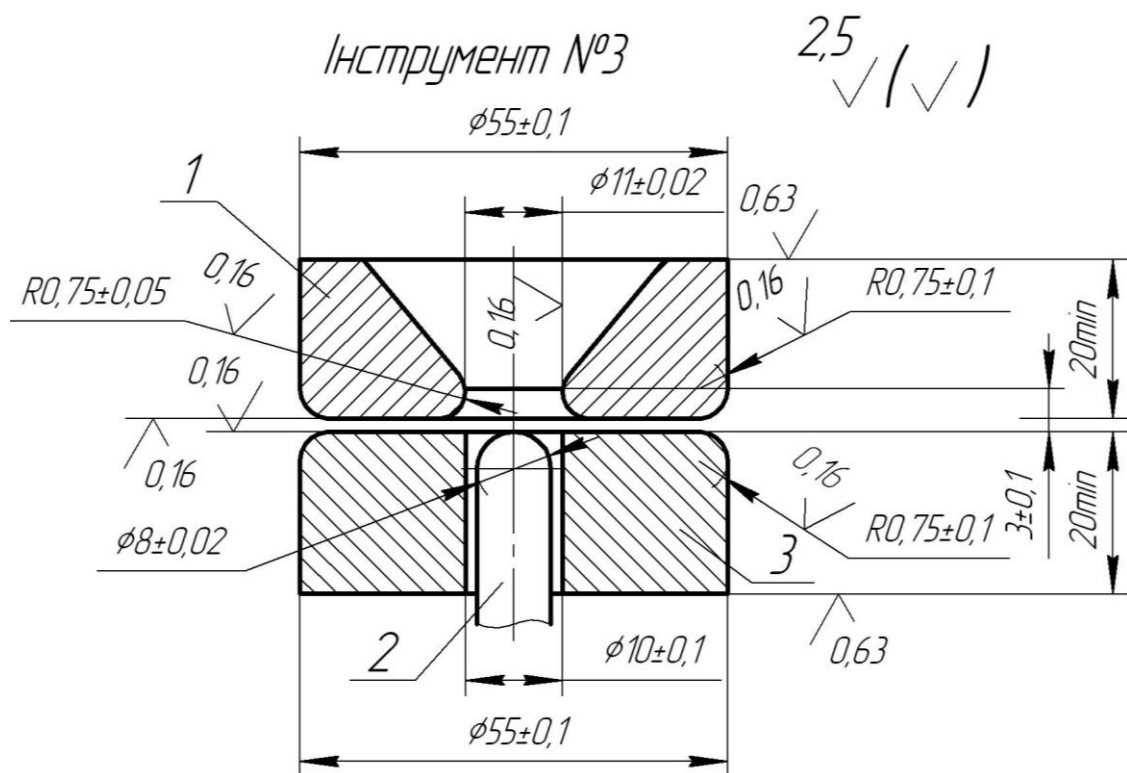


Рисунок 1 – Номінальні розміри, допустимі відхилення розмірів і шорсткість поверхні пуансонів, матриць і притискних кілець:
1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – притискне кільце

3.4 Проведення випробувань

3.4.1. Розміри інструменту, який використовують для випробування вибирають відповідно до табл. 2.

3.4.2. Зусилля притискання зразка між матрицею і притискним кільцем повинно бути біля 10000 Н (1000 кгс).

3.4.3. Швидкість видавлювання лунки інструментом № 1 повинна бути 5-20 мм/хв, а інструментами № 2, 3, 4 становить 5-10 мм/хв. Випробування слід закінчувати на мінімальних швидкостях.

3.4.4. Ознакою закінчення випробувань є поява на лунці наскрізної тріщини, видимої на просвіт.

Допускається проводити випробування за ознакою різкого зниження зусилля видавлювання, за виключенням випадків протиріч в оцінці якості металопродукції.

3.4.5. Глибина лунки позначається ІЕ.

При позначенні глибин лунок, отриманих інструментами № 2, 3, 4 необхідно вказати цифру, відповідно внутрішньому діаметру матриці ІЕ₂₁, ІЕ₁₁, ІЕ₅.

При випробуваннях по ознаці різкого зниження зусилля видавлювання глибина лунки позначається для інструментів:

№1 – ІЕ^н; № 2, 3, 4 – ІЕ^н₂₁, ІЕ^н₁₁; ІЕ^н₅.

Таблиця 2 – Вибір розмірів інструменту для випробування залежно від товщини зразка який випробовують.

Ширина зразка, сторона квадрата або діаметр круга, мм	Товщина зразка, мм	Номер інструменту	Діаметр пуансона, мм	Внутрішній діаметр матриці, мм	Внутрішній діаметр притискного кільця, мм
90	0,2-2,0	1	20	2	33
55-90	0,2-2,0	2	15	2	18
55-30	0,2-1,0	3	8	1	10
30-13	0,1-0,75	4	3	5	3,5

3.5 Оброблення результатів випробувань

3.5.1. Глибина лунки, яка являється характеристикою металу при випробуваннях по методу Ериксона, визначається з похибкою не більше 0,1 мм.

3.5.2. Якість металу оцінюють по середньому арифметичному із отриманих значень глибин лунок.

3.5.3. Результати випробувань заносять в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати випробувань.

Тип машини _____

Тип змащування _____

№	дата	марка	номер плавки	маркування	ширина зразка, мм	товщина зразка, мм	глибина видавлюваної лунки, мм			середня глибина лунки, мм	температура випробувань, °С
							Край 1	Край 2	Край 3		

4 Структура звіту

4.1. Номер і назва лабораторної роботи.

4.2. Мета роботи.

4.3. Короткі загальні відомості про метод випробування листів і стрічок методом видавлювання, методику підготовки зразків до випробування, вибір розмірів випробувального інструменту.

4.4. Схема і принцип роботи приладу, необхідного для виконання роботи.

4.5. Креслення деталі (зразка).

4.6. Дані випробування заносяться в таблицю 2.

4.7. Висновок.

4.8. Список літератури.

5 Контрольні запитання

1. Яка основна вимога ставиться до матеріалів, які використовують для виготовлення деталей методом листового штампування?
2. Які основні види випробувань для виявлення придатності матеріалу для листового штампування?
3. Яким нормам повинен задовольняти листовий і стрічковий матеріал за формою, розмірами і допусками?
4. Які параметри встановлюють при хімічному аналізі листового матеріалу?
5. Які властивості дозволяють виявити в металі металографічні дослідження?
6. Які найпоширеніші види випробувань для визначення механічних властивостей металу. Охарактеризуйте їх.
7. Що називають технологічними випробуваннями (пробами)?
8. Назвати найпоширеніші технологічні випробування металів для листового штампування?
9. В чому полягає метод випробування на видавлювання листів і стрічок?

6 Перелік літературних джерел

1. ГОСТ 10540-80 (ИСО 8490-86). Металлы. Метод испытания на выдавливание листов и лент по Эриксону. Изм. 1, 2. СТ СЭВ 478-77.

2. Живов Л.И. и др. Машины и технологии обработки металлов давлением. Лабораторные работы. – Издательское объединение «Вища школа», 1975. – 196 с.

3. Зубцов Н.Е. Листовая штамповка. Изд. 2-е, перераб. и доп.- Л.: Машиностроение, 1967. – 504с.

4. В.П. Романовский. Справочник по холодной штамповке. Изд. 6-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

ЗМІСТ

1. Мета роботи	3
2. Теоретичні відомості	3
2.1 Зовнішній вигляд, форма й розміри листового матеріалу	3
2.2 Хімічний аналіз листового матеріалу	4
2.3 Металографічні дослідження	4
2.4 Механічні властивості	6
2.5 Технологічні властивості	7
3. Методика випробовування витяжних властивостей листових матеріалів	10
3.1. Методи відбору зразків	10
3.2. Обладнання	11
3.3. Підготовка до випробувань	12
3.4. Проведення випробувань	15
3.5. Оброблення результатів виробувань	16
4. Структура звіту	16
5. Контрольні запитання	17
6. Перелік літературних джерел	18

Для нотаток