

**Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, П.В. Мельник, магістрант**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Прогнозування експлуатаційних параметрів деталей сільськогосподарських машин, отримуваних холодним висаджуванням

У статті представлені результати досліджень експлуатаційних показників стержньових виробів після багатопозиційного холодного висаджування, зокрема, їх міцностних параметрів, із використанням методу ліній ковзання. Показано, що найбільш небезпечним перерізом висаджених деталей є місце переходу головки у стержньову частину. Визначені характеристики і послідовність проведення процедур прогнозування. Запропоновано практичне впровадження представлених методик в процесі фахового супроводження виготовлення кріпильних деталей сільськогосподарської техніки **прогнозування, напружено-деформований стан, холодне висаджування, степінь деформації, зміцнення, цілісність, пластичність**

В технологічних процесах холодного висаджування деталей сільськогосподарської техніки дедалі більшою стає частка виробів складної конфігурації. Ця обставина викликає необхідність вивчення формоутворюючих процесів у метали заготовки. В процесах складного формоутворення А.Д. Томльоновим [1] розрізняються три типи втрати усталеності.

Втрата усталеності першого типу відбувається під час відносно невеликих деформацій у початковий момент деформування. Цьому відповідає момент появи площадки плинину на діаграмі розтягу металу заготовки. Наслідком втрати усталеності першого типу є утворення ліній ковзання (див. рис. 1) на поверхні висаджуваних виробів. Лінії ковзання псують зовнішній вигляд деталей та є концентраторами напружень під час її експлуатації. Основні засоби боротьби з утворенням ліній ковзання – це отримання сталей, які не мають площадок ковзання на діаграмі, тобто нестаріючих сталей. Найбільш поширеним способом усунення площадки плинину є дресировання сталі (холодне прокатування з невеликими степенями обтискування готового металопрокату – до 1,5%).

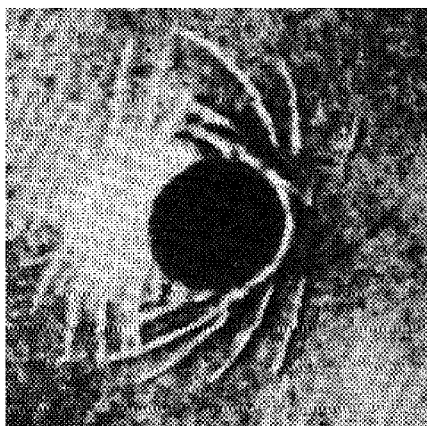


Рисунок 1 - Експериментально отримані лінії ковзання

Внаслідок нерівномірного стискування металопрокату може виникати втрата усталеності другого типу. Вона зумовлює появу складок (гофрів) і пояснюється явищами повздожнього вигину металу при деформуванні. Найчастіше ця небезпека виникає під час редукування стержньових виробів на гранично можливі для даного матеріалу степені деформації (20 – 25% і більше). Відомо, що усталеність під час пружнопластичного повздожнього вигину пропорційна модулю зміцнення даного матеріалу. Тому появі складок можна запобігти шляхом збільшення зусилля затискування матеріалу під час його висаджування.

Наприклад, можна зменшити зазор між редукуючою матрицею та заготовкою, для чого відповідно збільшити початковий її діаметр. Іншим засобом боротьби із складкоутворенням є конструктивні зміни у стержньовій частині деталі (наприклад, наявність «мертвих» шайб між головкою та стержнем виробу), проте це не завжди можливе, враховуючи конструктивні вимоги до готової деталі.

Втрата усталеності третього типу виникає в момент, який відповідає максимуму зусилля на діаграмі розтягу матеріалу заготовки. При цьому втрата усталеності полягає у зменшенні опору відповідного елемента заготовки, що викликано зменшенням площі його перерізу ( $a$ , отже, і значення модулю пружності деформованого матеріалу). Втрата усталеності такого виду викликає появу локальних зосереджених деформацій, що є недопустимими у готових виробах. Також вірогідні розриви металу в зазначених місцях.

Постановка задачі наукових досліджень включала в себе виконання робіт по двом наступним етапам:

1. Дослідження процесу холодного висаджування та моніторинг напружено-деформованого стану у готових виробах за методом А. Д. Томльонова;

2. Визначення запасу пластичності під час холодного висаджування складних за конфігурацією виробів за допомогою діаграм граничної штампованості [3] із використанням методики Келера-Гудвіна.

Дослідження процесу формоутворення виробів складної форми можна проводити, застосовуючи метод координатних сіток. При цьому передбачали виконання наступних задач:

- Вивчення розподілу деформацій по перерізам деформованих деталей;
- Встановлення «небезпечного» перерізу, по якому може відбутися руйнування виробу (або поява ліній ковзання на його зовнішній поверхні);
- Встановлення виду напруженого стану по потенційно небезпечним перерізам;
- Визначення запасу пластичності у небезпечних перерізах за методом А. Д. Томльонова;

Сутність методу полягає у встановленні відношення накопиченої інтенсивності деформацій в процесі холодного висаджування  $\varepsilon_i$  (зокрема, багатопозиційного, оскільки в цьому випадку ні за яких умов неможливе проведення знеміцнювальної обробки висаджуваних матеріалів) та критичної інтенсивності деформацій даного металу  $\varepsilon_{кр}$ , коли спостерігатиметься втрата усталеності або руйнування матеріалу

$$\eta = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{i(кр)}}$$

де  $\eta$  - запас пластичності.

Використання цього методу дозволяє провести якісний моніторинг змін у характеристиках матеріалу висаджуваних виробів по наступним параметрам:

- рівномірності відносного подовження  $\delta_p$ ;
- показнику степеню зміцнення  $n$ ;
- межі міцності металу заготовки  $\sigma_s$ ;

Дослідження проводили на лабораторному обладнанні кафедри ОМТ КНТУ (гідралічний прес типу 2ПГ – 10, номінальним зусиллям 100 кН) із використанням дослідного штампу для холодного висаджування виробів з діаметром стержню 20 мм (див. рис. 2). На досліджувані вироби попередньо наносили концентричні кола у відповідності із обраними небезпечними перерізами (див. рис. 3). Накопичені логарифмічні деформації у кожному із обраних перерізів розраховували згідно залежностей [2]

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{L_1}{L_0};$$

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{L_2}{L_0};$$

$$-\varepsilon_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

де  $L_i$  – довжина кола кожного із перерізів після висаджування;  
та інтенсивності логарифмічних деформацій у тих же перерізах

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}$$

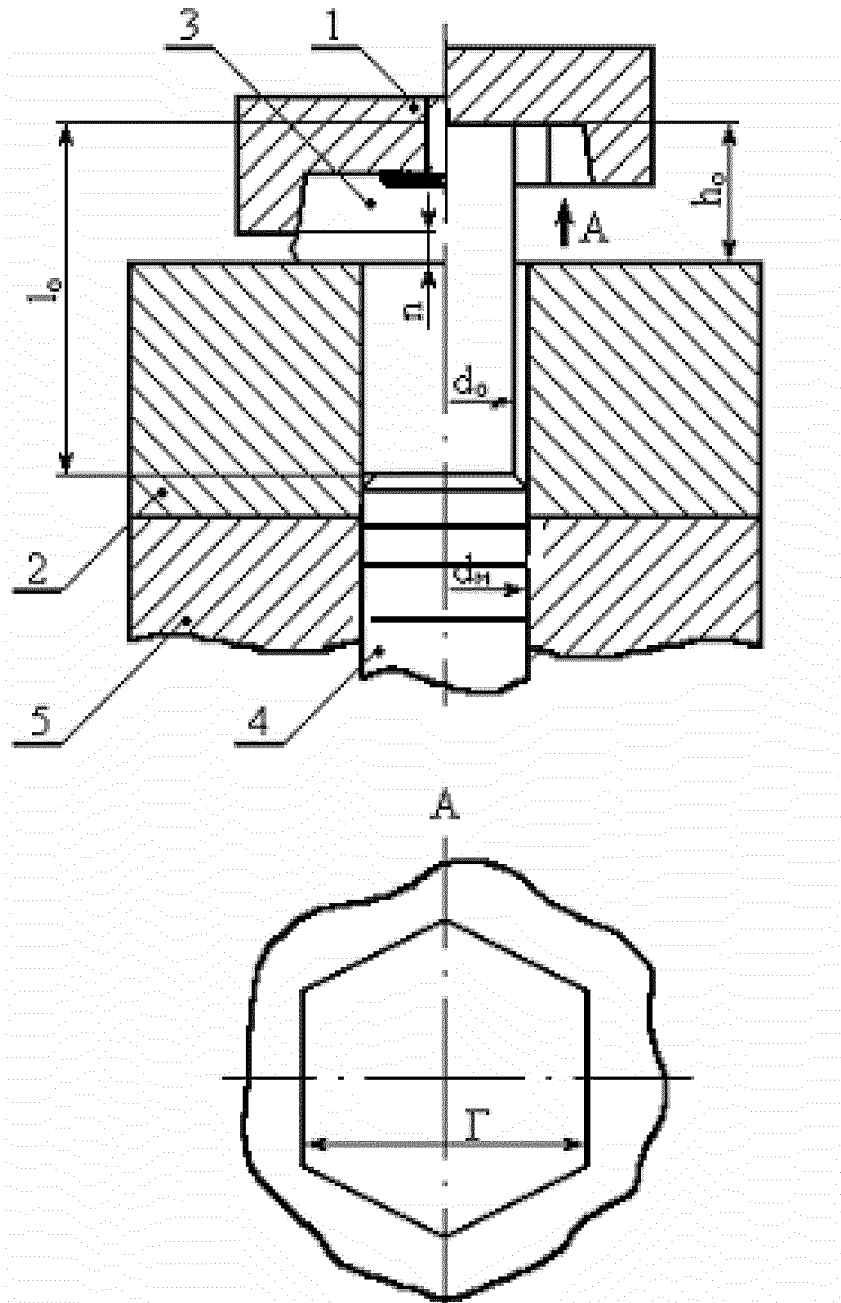


Рисунок 2 – Загальний вид експериментального штампку: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – корпус;  
4 - виштовхувач.

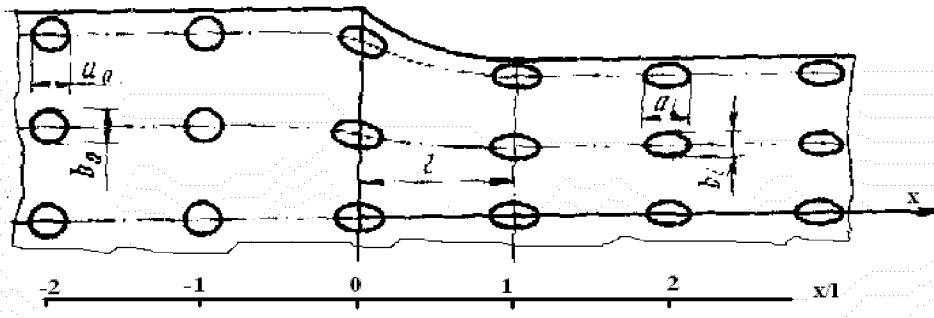
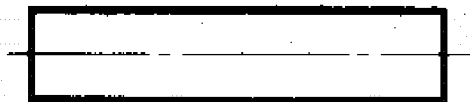


Рисунок 3 – Викривлення координатної сітки по перерізу зразка

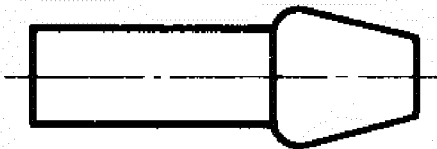
За результатами досліджень будуються графіки розподілу деформацій по перерізах.

Вид напружено-деформованого стану у кожному перерізі зразків визначали за допомогою показника напружено-деформованого стану  $m$ , який залежить від співвідношення головних напружень та головних деформацій. Відомо, що кожному значенню показника напружено-деформованого стану  $m$  відповідає певний вид деформацій:

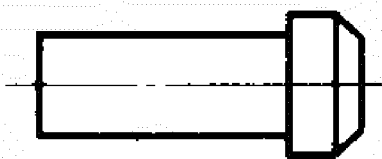
- якщо  $m = 0$ , то  $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2 = \varepsilon_3$ ;
- якщо  $m = 1$ , то  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ;  $\varepsilon_3 = -\varepsilon_2$ ;
- якщо  $m = 0,5$ , то  $\varepsilon_1 = \varepsilon_3$ ;  $\varepsilon_2 = 0$



вихідна заготовка

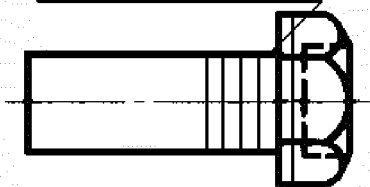


попереднє висаджування



остаточне висаджування

досліджувані перерізи



формування шестигуника

В умовах нерівномірного двохвісного розтягу:

- якщо  $m < 0$ , то  $\varepsilon_1 > 0$ ;  $\varepsilon_2 > 0$ ;  $\varepsilon_3 < 2\varepsilon_2$  (розтяг із стискуванням);
- якщо  $m = -0,5$ , то теж має місце розтяг із стискуванням;
- якщо  $m = -1$ , то  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ ;  $\varepsilon_3 = 0$  (чистий зсув).

Фактичну наявність вищезазначених зон встановлювали за зовнішнім виглядом перерізів деформованого зразка. Для стержньової частини переважає розтяг із стискуванням ( $0 \leq m \leq 1$ ). Відповідно до отриманого результату обчислювали критичні інтенсивності логарифмічних деформацій по кожному перерізу після висаджування :

$$\varepsilon_{i(кр)} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} n,$$

де  $n$  – показник зміцнення.

Рисунок 3 – Переходи висаджування

Внаслідок зміцнення кристали набувають певного орієнтування площин та напрямів ковзання, тобто утворюється текстура деформації, яка викликає анізотропію

властивостей. Зміцнення, яке отримує метал під час холодної пластичної деформації у більшості випадків підвищує міцність штампованих виробів. Однак при великих значеннях степеню деформації суттєво підвищується зусилля деформування, тому при реалізації багатоперехідних технологічних процесів холодного висаджування часто застосовують проміжний відпал напівфабрикату.

Зв'язок між показниками деформації та зміцнення встановлювали у вигляді діаграми істинних напружень  $\sigma_s = \Phi(\epsilon)$ , де  $\sigma_s$  – істинний опір матеріалу деформації. Вищезгадану діаграму будували графічно для певних марок сталей та сплавів за експериментальними даними (див. таблицю).

Таблиця – Експериментальні дані

Матеріал зразку	$\epsilon$ , %	10	20	30	40	50
Сталь	$\sigma_s$ , МПа	385	460	515	570	585
Латунь	$\sigma_s$ , МПа	320	370	390	405	410
Свинець	$\sigma_s$ , МПа	29	41,9	37	32	26

За допомогою програм пакету «Calculator-3000» визначали значення параметрів наближення, які входять до експериментальних залежностей – степеневі :

$$\sigma_s = a \cdot \epsilon^b$$

та параболічної :

$$\sigma_s = b_0 + b_1 \cdot \epsilon + b_2 \cdot \epsilon^2.$$

Далі будували експериментальні та розрахункові графіки залежностей  $\sigma_s = \sigma_s(\epsilon)$  для кожного з зразків. Виходячи із пропорційності девіаторів напружень та деформацій показник напружено-деформованого стану  $m$  обчислювали за формулою

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{2\epsilon_2 + \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \geq 1.$$

Далі визначали коефіцієнт використання пластичності у кожному перерізі деформованої заготовки

$$\eta = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_{i(кр)}}.$$

Якщо  $\eta = 1$ , це свідчить про небезпеку втрати металом заготовки своєї цілісності.

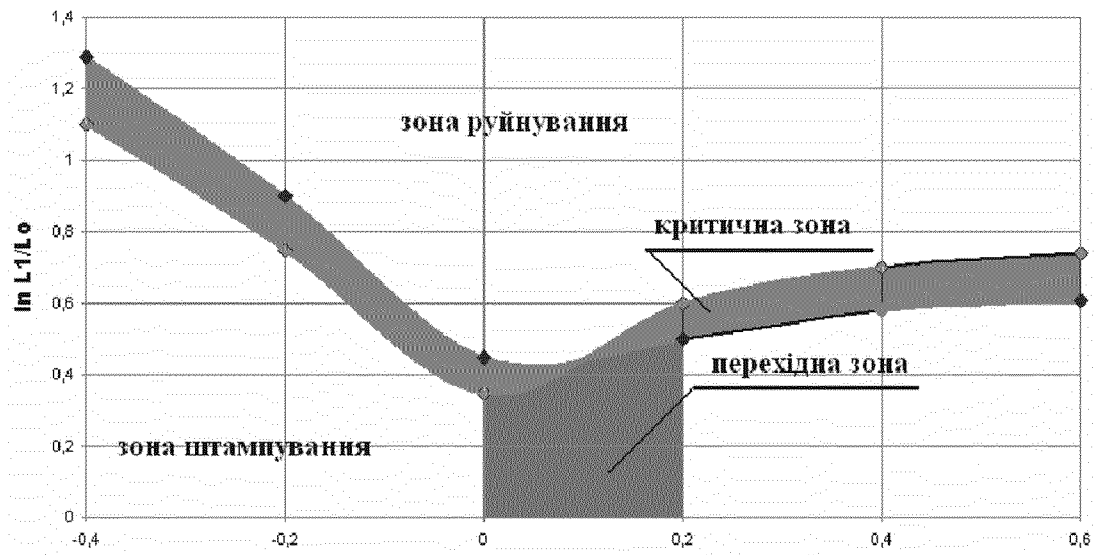


Рисунок 5 – Практичний вигляд отриманої діаграми Келера-Гудвіна

## Список літератури

1. Пластичность и разрушение. / Под ред. В.Л. Колмогорова – М.: Металлургия, 1977. – 336с.
2. Томленов А.Д. Механика процессов обработки металлов давлением Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением – М.: Машгиз, 1963. – 235с.
3. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: «Металлургия», 1975. – 445с.

*Б. Крышкин, П. Мельник*

### **Прогнозирование эксплуатационных параметров деталей сельхозмашин, получаемых холодным взрыванием**

В статье представлены результаты исследований эксплуатационных показателей стержневых изделий после многопозиционной холодной высадки, в частности, их прочностных параметров, с использованием метода линий скольжения. Показано, что наиболее опасным сечением высаженных деталей являются места перехода головки в стержневую часть. Определены характеристики и последовательность проведения процедур прогнозирования. Предложено практическое внедрение представленных методик в процессе профильного сопровождения изготовления крепежных деталей сельскохозяйственной техники.

*B. Krishkin, P. Melnik*

### **Prognostication of operating parameters details of agricultural machines which turn out a cold exploding**

In the articles presented results of researches of operating indexes of the cored wares are after a multiposition cold upsetting, in particular, them strong parameters, with the use of method of sliding lines. It is rotined that the most dangerous cut of the landed details are places of transition of head in the cored part. Descriptions and sequence of leadthrough of procedures of prognostication are certain. Practical introduction of the presented methods is offered in the process of professional accompaniment of making of timber details of agricultural technique.

Одержано 15.10.09