

ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

Левченко Володимир Миколайович

УДК 621.983

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ
ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ НА БАЗІ РОЗРОБЛЕНИХ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИТЯГУВАННЯ

Спеціальність 05.03.05 – Процеси і машини обробки тиском

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2001

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Євстратов Віталій Олексійович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, завідувач кафедри обробки металів тиском

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Алієв Іграмотдін Серажутдінович,
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ),
завідувач кафедри обробки металів тиском

кандидат технічних наук, доцент
Майоров Генадій Іванович,
Донбаський гірничо-металургійний інститут (Алчевськ),
доцент кафедри обробки металів тиском

Провідна установа: Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і
науки України, кафедра “Обробка металів тиском”, м. Київ

Захист відбудеться “25” квітня 2001 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.01 по захисту дисертацій Донбаської державної машинобудівної академії (84313, Краматорськ, вул. Шкадінова 72, корпус 1).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, Краматорськ, вул. Шкадінова 72, корпус 1.

Автореферат розісланий “21” березня 2001 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради Д 12.105.01,
кандидат технічних наук, доцент
О.В. Сатонін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В усіх провідних галузях народного господарства широко засто-совуються деталі осесиметричної форми (тіла обертання), які виготовляють методом

холодного листового штампування з використанням операцій витягування, відбортовування, калібрування, тощо. Холодне штампування дозволяє економно витратити матеріал, отримувати взаємозамінні деталі високої точності переважно без наступної механічної обробки при високій продуктивності обладнання і можливості механізації та автоматизації.

Сучасні тенденції щодо інтенсифікації процесів листового штампування, зокрема, витягування, а також застосування ЕОМ до технологічної і конструкторської підготовки виробництва вимагають удосконалення способів деформування та розробки нових методик розрахунків технологічних процесів, орієнтованих в першу чергу на використання комп'ютерів та систем автоматизованого проектування (САПР). Впровадження нових та вдосконалення діючих техно-логічних процесів витягування металу для виготовлення деталей високої якості та з необхідною точністю можливе лише за умов точного визначення оптимальних технологічних параметрів. Узагальнені аналітичні залежності для визначення цих параметрів мають бути отримані з використанням методів і теорії, які адекватно відображають суть реального процесу.

Процес витягування досліджено достатньо детально, однак в усіх відомих дослідженнях використано спрощуючі припущення, які суттєво знижують універсальність і адекватність отриманих рішень і методик розрахунків. Одержані методом інтегрування рівнянь рівноваги сумісно з умовою пластичності фланцю заготовки при припущенні незмінності початкової товщини заготовки, ці залежності не дозволяють врахувати деформації стоншення (потовщення) матеріалу заготовки, вплив деформаційного зміцнення, а також додаткові силові і кінематичні фактори. Тому розробка узагальненого методу розрахунків всіх видів витягування на базі єдиного енергетичного підходу є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано автором в рамках комплексної НДР за напрямком “Розробка високопродуктивних, матеріало- і енергозберігаючих технологічних процесів обробки металів тиском, конструювання високостійких штампів, створення САПР в ОМТ”, що проводилась на кафедрі обробки металів тиском НТУ “ХПІ” на госпдоговірній і держбюджетній основі.

Мета та задачі дослідження. *Мета роботи* – підвищення ефективності процесів формозмінення листових заготовок на основі розроблених методик розрахунку процесів витягування, програмних засобів і технологічних рекомендацій.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено наступні *задачі*:

- розроблено узагальнені моделі процесів витягування осесиметричних деталей, що враховують деформаційне зміцнення і зміну товщини заготовки;
- розроблено програмні засоби реалізації узагальнених моделей;
- оцінено достовірність запропонованих схем і отриманих математичних моделей процесів витягування;
- розроблено алгоритми розрахунків і вдосконалені методики проектування процесів витягування осесиметричних деталей;
- розроблено рекомендації по вдосконаленню технологічних процесів витягування на основі аналізу узагальнених математичних моделей.

Об'єкт дослідження – формозмінення у процесах холодного листового штампування деталей осесиметричної форми, силовий режим та шляхи інтенсифікації операцій витягування, за допомогою яких виготовляють різноманітну номенклатуру виробів у листоштампувальному виробництві.

Предмет дослідження – технологічні процеси витягування деталей осесиметричної форми; їх математичні моделі та методики розрахунку.

Методи дослідження. Енергетичний метод використаний для теоретичного аналізу процесів витягування і побудови математичних моделей; методи чисельного інтегрування та мінімізації функцій – для побудови математичних моделей і виконання математичних експериментів; метод фізичного моделювання – для визначення силових і кінематичних характеристик; метод прецизійних координатних сіток – для дослідження деформованого стану; для обробки даних експерименту використали сучасні методи регресійного аналізу та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– запропоновано і обгрунтовано схеми і стадії деформації заготовок при витягуванні осесиметричних деталей;

– побудовано узагальнені математичні моделі витягування осесиметричних деталей, які дозволяють враховувати деформаційне зміцнення матеріалу для будь-якої точки в межах осередку деформації, описати зміни товщини листового матеріалу в процесі деформації та інтенсифікувати процес;

– отримано залежності інтенсивності деформації як функції координат для характерних зон заготовки, що деформується, з урахуванням розгляду процесу по стадіях;

– запропоновано нову методику експериментальної експрес-оцінки граничних можливостей деформації при витягуванні листового матеріалу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

– на базі отриманих узагальнених математичних моделей розроблено алгоритми, що склали базу підсистеми САПР для проектування технологічних процесів витягування та їх інтенсифікації;

– розроблено методику розрахунку і технологічні рекомендації для процесів витягування осесиметричних деталей з урахуванням деформаційного зміцнення для будь-якої точки в межах осередку деформації і зміни товщини заготовки в процесі деформації;

– теоретичні і практичні результати роботи використано в навчальному процесі НТУ “ХПІ” при підготовці лекційних курсів з теорії процесів ОМТ, технології листового штампування, математичному моделюванню і САПР в ОМТ;

– методики розрахунку і рекомендації запропоновано для вдосконалення технології штампування деталей на промислових підприємствах України. Розроблені технологічні процеси використано на харківських заводах ДП “Завод ім. Малишева” і електроапаратури та Керченському металургійному комбінаті.

Особистий внесок здобувача складають:

– розробка основних теоретичних залежностей і побудова узагальнених моделей процесів витягування осесиметричних деталей з урахуванням деформаційного зміцнення і зміни товщини матеріалу;

– проведення математичних експериментів та аналіз їх результатів;

– експериментальна перевірка одержаних результатів в лабораторних та промислових умовах;

– розробка методики розрахунку технологічних параметрів штампування осесиметричних деталей на базі удосконалених математичних моделей;

– створення програмних засобів реалізації узагальнених моделей, що враховують деформаційне зміцнення і зміну товщини матеріалу при витягуванні;

– розробка рекомендацій і впровадження результатів досліджень у промисловість.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи оприлюднено на міжнародних науково-технічних конференціях: “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”, Харків, 30–31 травня 1996 р.; “Проблеми розвитку науко-ємких і маловідхідних процесів обробки металів тиском”, Краматорськ, 24–26 лютого 1997 р.; “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”, Харків, 12-14 травня 1997 р.; “Удосконалення процесів і обладнання виробництва та обробки метало-продукції для металургії та машинобудування”, Краматорськ, Слов'янськ, 18–20 жовтня 2000 р. та на щорічних наукових семінарах кафедри обробки металів тиском НТУ “ХПІ” у 1998 – 2000 р.р.

Публікації. Основний зміст дисертації викладено в 11 наукових статтях, з яких 6 – в фахових журналах і збірниках наукових праць, 2 – депоновані рукописи.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків і додатків. Повний обсяг роботи 203 сторінки. Робота містить 80 ілюстрацій, 8 таблиць, список використаних літературних джерел з 110 найменувань і 9 додатків, які в сукупності займають 80 сторінок.

Представлені дослідження виконано на замовлення та завдяки заінтересованому сприянню харківських заводів ДП “Завод ім. Малишева” і електроапаратури та Керченського металургійного комбінату.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ. Аналіз науково-технічної літератури виявив сучасні тенденції розвитку технології і теорії процесів холодного листового штампування.

Встановлено, що підвищення ефективності формозмінюючих процесів листового штампування, зокрема, процесів витягування, пов'язано з розробкою і впровадженням нових способів деформування, що дозволяє підвищити ступінь граничної деформації і отримати якісні вироби за найменшу кількість технологічних переходів. Різноманітність способів деформування,

що харак-теризуються присутністю додаткових силових і кінематичних впливів, широка номенклатура виробів потребують розробки сучасних математичних моделей процесів, які дозволяють врахо-вувати реальне деформаційне зміцнення для всіх точок заготовки, зміну товщини матеріалу в процесі деформування, вплив основних геометричних чинників і прогнозувати можливості граничного формозмінення та якість отриманих виробів. Наявність таких моделей дозволяє ви-користовувати ЕОМ для проектування технологічних процесів та створювати системи САПР.

На основі вивчення літературних джерел проаналізовано сучасні способи інтенсифікації процесів витягування і методи розрахунків; питання, пов'язані з характером течії металу при витя-гуванні (поле швидкостей) та руйнуванням; методики урахування впливу численних чинників на процеси деформації (деформаційне зміцнення, зміна товщини, геометрія інструмента, наявність прижиму, змащування тощо). Встановлено, що деформаційне зміцнення і зміна товщини заготов-ки суттєво впливають на процес витягування, і їх урахування дозволяє підвищити якість техно-логічних процесів як діючих, так і новостворюваних.

Виконані теоретичні дослідження процесу витягування за допомогою методу інтегрування рівнянь рівноваги сумісно з умовою пластичності (інженерний метод) не повністю відповідають реальним процесам і не дають змоги урахувати реальне деформаційне зміцнення для всіх точок заготовки, зміну товщини матеріалу в процесі деформування.

На підставі аналітичного огляду встановлено, що для удосконалення формозмінюючих процесів листового штампування, створення підсистем САПР, призначених для технологічних розрахунків, необхідно застосувати нові підходи до аналізу та створити узагальнені математичні моделі, що дозволяють враховувати реальне деформаційне зміцнення заготовки і зміну її товщини в різноманітних процесах деформування шляхом витягування.

Другий розділ. Розроблено і обґрунтовано методику дослідження процесів витягування осесиметричних деталей, наведено основні підходи до побудови математичних моделей. Пока-зано, що в найбільшій мірі задачам дослідження відповідає енергетичний метод, який передбачає використання кінематично можливих полів швидкостей і принципу мінімуму повної енергії деформації.

Наведено основні рівняння енергетичного методу і методика побудови математичних моделей, що базується на енергетичному методі і об'єднує наступні етапи: вибір координатної системи; формулювання динамічних граничних умов; розбивка заготовки на зони; побудова кінематично можливих полів швидкостей; визначення компонент тензору швидкостей деформації і інтенсивності деформації; перевірка умов незмінності об'єму та нерозривності нормальної компоненти; вибір напруження течії, контактних дотичних напружень і напружень течії на зсув; визначення потужності сил деформування як функції від параметрів, що варіюються; знаходження значень цих параметрів з принципу мінімуму повної енергії деформації.

Обґрунтовано критерій мінімізації – зусилля деформації і вибрано методи чисельного аналізу. Наведено алгоритми реалізації чисельних методів. Показано, що для рішення задач аналізу можна використати ресурси спеціалізованих програмних засобів, наприклад, пакету MATHCAD.

Третій розділ. В основу теоретичного аналізу процесів витягування осесиметричних деталей покладено три схеми деформації: “малих” заготовок (з вузьким фланцем), “середніх” заготовок (з широким фланцем), “великих” заготовок (з надшироким фланцем).

Побудовано та проаналізовано математичні моделі для найбільш загальної схеми (витягування “середньої” заготовки), яка проходить в три стадії: перша, що відбувається за рахунок стоншення матеріалу заготовки в зазорі та на краях матриці і пуансону при незмінному зовнішньому розмірі фланцю; друга, що відбувається за рахунок зменшення діаметра фланцю (квазістаціонарна) та третя – перетягування фланцю на тороподібній поверхні матриці.

Визначено інтенсивність деформації $\varepsilon_i = f(r, z, \theta)$ і напруження течії $\sigma_s = f(\varepsilon_i)$ в будь-якій точці заготовки, що витягується, а також зусилля витягування F_d на квазістаціонарній стадії (коли сформувались 5 характерних зон, і коли осередок деформацій стабілізувався за формою та розмірами). За вихідні параметри взято розміри пуансона R_n, r_n , матриці R_m, r_m , заготовки R_z, h та t і зусилля прижиму Q (рис. 1). В областях 1–3 деформації відсутні, тому вони – жорсткі зони. В зонах 4 і 5 має місце радіальна течія, тому зони 4 і 5 є осередок деформації.

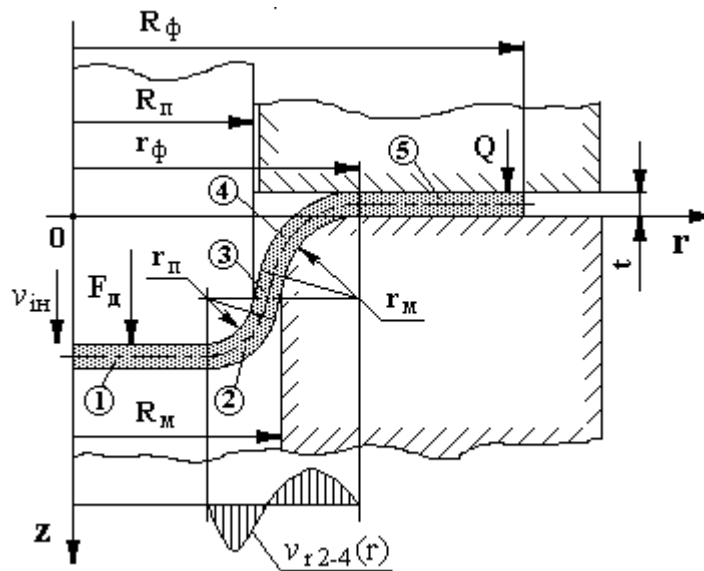


Рис. 1. Схема витягування

Поле швидкостей для зони 4 в тороподібній системі координат має наступний вигляд

$$v(\varphi) = -v_{in} \frac{\bar{R}_m}{R_m + r_m - \bar{r}_m \cos \varphi},$$

(1)

де $\bar{r}_m = r_m + 0,5t$ та $\bar{R}_m = R_m - 0,5t$;

v_{in} – швидкість інструмента;

φ – локальна кутова координата.

Для зони 5 поле швидкостей отримано з використанням закону незмінності об'єму в диференціальній формі за умови незмінності товщини заготовки

$$v_r = -v_{in} \frac{\bar{R}_M}{r}.$$

(2)

Отримано залежності початкової координати r_0 , що дозволяють знайти переміщення кожної точки заготовки, що деформується, для другої та третьої стадій витягування. З урахуванням того, що товщина заготовки незмінна ($\varepsilon_z=0$), в зонах 4 і 5 має місце плоска схема деформації. Виходячи з цього, інтенсивність деформації визначали як

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{u}{r},$$

(3)

де u – абсолютне переміщення точок заготовки.

Розрахунки за формулою (3) показали, що на другій і третій стадіях найбільша деформація (а значить і зміщення) має місце в зоні 4. Маючи залежність інтенсивності деформації, як функцію координат, визначали істинне напруження течії в точках по всьому перерізу заготовки, що деформується. Для цього використовували залежність $\sigma_s = f(\varepsilon_i)$, яка може бути виражена будь-якою функцією (в даній роботі скористалися кубічним поліномом, як функцією, яка забезпечує най-меншу похибку при апроксимації експериментальної кривої течії).

При визначенні потужності у зоні 4 брали до уваги, що в перерізах, перпендикулярних дотичній, проведеній до серединної поверхні у цій зоні, для швидкості $v_4(\varphi)$ існує градієнт по товщині заготовки і розраховували додаткову потужність згину на витяжній крайці матриці.

Математична модель для другої стадії витягування має наступний вигляд

$$F_\partial = \frac{1}{v_{in}} \left[N_{B4} + N_{B5} + N_{T4} + N_{T5} \right],$$

(4)

де N_{B4}, N_{B5} – потужності внутрішніх сил опору деформації для зон 4 і 5;

N_{T4}, N_{T5} – потужності сил тертя на контактних поверхнях з інструментом для цих же зон.

При витягуванні без зазору між прижимом та матрицею, дія першого не зупиняється з початком третьої стадії. Вона закінчується лише при певному ході пуансону $\Delta h'_{in}$, коли положення краю заготовки на витяжній крайці матриці визначається кутом α' . Вплив дії прижиму на силовий режим на третій стадії враховували, додавши потужність N'_{T4} , зумовлену дією прижиму. Математична модель для третьої стадії витягування має таку структуру

$$F_\partial = \frac{1}{v_{in}} \left[N_{B4} + N_{T4} + N'_{T4} \right].$$

(5)

Товщина фланцю, що деформується, t залежить від радіальної координати r та часу τ . Було прийнято, що аксіальна компонента швидкості частинок металу у зоні фланцю – лінійна функція від координати r та z . При витягуванні фланцю на витяжну крайку матриці (зона 4) частинки в зоні 5 переміщуються зі швидкостями v_{r5} і v_{z5} у напрямку відповідних координат. Залежність швид-

кості v_{z5} від координат r та z описували функцією

$$v_{z5}(r, z) = (r - r_0)k_\phi v_{r4-5}z,$$

(6)

де r_0 і k_ϕ – параметри, що варіюються:

r_0 – миттєвий радіус поверхні розділу швидкостей v_{z5} (де область стоншення переходить у область потовщення);

k_ϕ – кутовий коефіцієнт нахилу епюри швидкостей $v_{z5}(z)$ до осі z , залежний від r ;

v_{r4-5} – радіальна компонента швидкості частинок металу на переході від тороподібної зони 4 до зони фланцю 5;

r та z – незалежні змінні.

При $r_\phi < r < r_0(\tau)$ швидкість частинок металу на верхньому торці фланцю від'ємна (тут має місце стоншення), а при $r_0(\tau) < r < R_\phi(\tau)$ швидкість частинок додатня (відповідно має місце потовщення).

Підстановка в умову незмінності об'єму, продиференційованої по z правої частини формули (6), дає рівняння

$$\frac{\partial v_{r5}}{\partial r} + \frac{v_{r5}}{r} + (r - r_0)k_\phi v_{r4-5} = 0,$$

(7)

яке містить одну невідому функцію v_{r5} , що залежить від двох параметрів r_0 і k_ϕ , що варіюються. Швидкість v_{r4-5} відома, оскільки вона однозначно зв'язана зі швидкістю пуансона v_{in} через рівняння постійності витрат в перерізах $r = r_\phi$ та $z = -(r_M + h)$ (див. рис. 1).

З рівняння (7) інтегруванням отримали радіальну компоненту

$$v_{r5} = v_{r4-5} \left[\frac{k_\phi}{6} (2r^2 - 3r_0 r) - \frac{r_\phi}{r} \left(-\frac{k_\phi}{6} r_\phi (2r_\phi - r_0) + 1 \right) \right].$$

(8)

За рівняннями Коші для зони 5 визначено компоненти тензору швидкостей деформації ξ_{r5} , $\xi_{\theta 5}$, ξ_{z5} і ξ_{rz5} та інтенсивність швидкостей деформації

$$\xi_{i5} = \frac{\sqrt{2}}{3} v_{r4-5} \sqrt{\left(-k_\phi \frac{r}{3} + 2K_1 \right)^2 + \left(k_\phi \frac{8r - 9r_0}{3} + K_1 \right)^2 \left(k_\phi \frac{10r - 9r_0}{3} - K_1 \right)^2 + \frac{3}{2} k_\phi^2 z^2},$$

(9)

$$\text{де } K_1 = \frac{r_\phi}{r^2} \left(-\frac{k_\phi}{6} r_\phi (2r_\phi - 3r_0) + 1 \right).$$

Враховуючі, що для невеликих проміжків часу, яким відповідає мале переміщення пуансона, параметри r_0 та k_ϕ можна вважати константами, компоненти тензору деформації ε_{r5} , $\varepsilon_{\theta 5}$, ε_{z5} та γ_{rz5} визначали інтегруванням компонент тензору швидкостей деформації по координаті z .

Інтенсивність деформації для зони фланцю визначали як

$$\varepsilon_{i5} = \frac{\sqrt{2}}{3} u_{r4-5} \sqrt{\left(-k_{\phi} \frac{r}{3} + 2K_1\right)^2 + \left(k_{\phi} \frac{8r - 9r_0}{6} + K_1\right)^2 + \left(k_{\phi} \frac{10r - 9r_0}{6} - K_1\right)^2 + \frac{3}{2} k_{\phi}^2 z^2},$$

(10)

$$\text{де } u_{r4-5} = \sqrt{R_n'^2 + \bar{r}_n(\pi R_n' + 2\bar{r}_n) + 2h\bar{R}_m + \bar{r}_m(\pi r_{\phi}' - 2\bar{r}_m)} - r_{\phi};$$

$$R_n' = R_m - r_n - t \text{ та } \bar{r}_n = r_n + 0,5t.$$

По залежності інтенсивності деформації (10) розраховували істинне напруження течії і визначали потужність внутрішніх сил опору деформації в зоні фланцю з урахуванням зміни його товщини.

При розгляданні першої стадії процесу витягування, яка відбувається за рахунок стоншення матеріалу заготовки, умова сталості об'єму для зон 2–4 містить дві невідомі функції компонент швидкостей. Тому, виходячи з характеру деформації, для радіальної компоненти приймали залежність від координати r у вигляді кубічного поліному (див. рис. 1)

$$v_{r2-4}(r) = -v_{in} \left[b_1 \left(1 - \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_2 \left(2 - \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_3 \left(3 - \frac{r - R_n'}{r}\right) \right],$$

(11)

де b_1 , b_2 та b_3 – параметри, що варіюються.

З закону сталості об'єму аксіальна компонента швидкості визначена так

$$v_{z2-4}(r, z) = v_{in} \left[b_1 \left(1 + \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_2 \left(2 + \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_3 \left(3 + \frac{r - R_n'}{r}\right) \right] z.$$

(12)

Інтенсивність швидкостей деформації для зон 2–4 дорівнює

$$\xi_{i2-4} = \frac{\sqrt{2}}{3} v_{in} \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2},$$

(13)

$$\text{де } E_1 = b_1 \left(1 - \frac{r - R_n'}{r}\right) - b_2 \left(2 - \frac{r - R_n'}{r}\right) - b_3 \left(3 - \frac{r - R_n'}{r}\right);$$

$$E_2 = -b_1 \left(1 + 2 \frac{r - R_n'}{r}\right) - 2b_2 \left(1 + \frac{r - R_n'}{r}\right) - b_3 \left(3 + 2 \frac{r - R_n'}{r}\right);$$

$$E_3 = b_1 \left(1 + \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_2 \left(4 + \frac{r - R_n'}{r}\right) + b_3 \left(6 + \frac{r - R_n'}{r}\right).$$

Інтенсивність деформацій знаходили інтегруванням інтенсивності швидкостей деформації по координаті часу τ з урахуванням, того що $H = \int_{\Delta\tau} v_{in} d\tau$ – переміщення пуансона, а параметри

b_1 , b_2 та b_3 при розгляданні невеликих проміжків часу можна вважати незалежними від τ константами

$$\varepsilon_{i2-4} = \frac{\sqrt{2}}{3} H \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2}.$$

(14)

Таким чином, математичну модель першої стадії витягування отримали у такому вигляді

$$F_{\partial} = \frac{1}{v_{in}} [N_{в2} + N_{в3} + N_{в4} + N_{т2} + N_{т4}],$$

(15)

де $N_{в2}, N_{в3}$ – потужності внутрішніх сил опору деформації відповідно у зонах 2 і 3;

$N_{т2}$ – потужності сил тертя на контактній поверхні зони 2.

Інтегрування потужностей у формулах (4, 5, 15) виконували чисельними методами за допомогою ПЕОМ. Параметри k_{ϕ}, r_0, b_1, b_2 та b_3 , що варіюються, обчислювали також на комп'ютері, виходячи з принципу мінімуму енергії деформації і з використанням методів пошуку мінімуму функції декількох змінних.

Задачу аналізу розглянутого процесу можна узагальнити за допомогою наступної схеми (рис. 2).

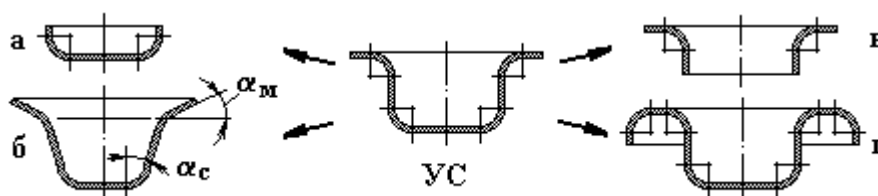


Рис. 2. Узагальнена схема та її можливі варіанти

Як видно з рис. 2, УС – узагальнена схема витягування, яка більш детально показана на рис. 1, є основою для теоретичного розгляду різноманітних процесів формозмінення листових заготовок: а – відбортовування зовнішнє; б – витягування в конічній матриці; в – відбортовування внутрішнє; г – реверсивне витягування. Для всіх цих схем в роботі на базі УС побудовано поля швидкостей, дано теоретичний аналіз і показано, як його можна використати для удосконалення існуючих та розробки нових процесів.

Розрахунки показали, що урахування реального зміцнення по всьому перерізу заготовки забезпечує адекватність моделей процесу витягування. На основі аналізу створених математичних моделей встановлено, що урахування впливу зміцнення матеріалу і зміни товщини заготовки для матеріалів, початок кривих течії для яких характеризується великою величиною градієнта напруження, дозволяє зменшити коефіцієнт витягування. Так, для нержавіючих сталей це зниження може дорівнювати 15–18%.

Четвертий розділ. Розроблено методики експериментального постадійного дослідження процесу витягування та методика випробувань на стискання зразків з листового матеріалу, яка дозволяє значно точніше визначати напруження течії для великих деформацій. За результатами проведених на зразках випробувань отримано математичні моделі процесу зміцнення сталі 30Х13, сталі 10, міді М1 і алюмінію АД1 на основі апроксимації діаграми течії кубічним поліномом. На базі експериментальних досліджень витягування заготовок з ексцентриситетом розроблено

експрес-метод кількісної оцінки здатності металу до витягування осесиметричних деталей, що дозволяє отримати значення деформації для широкого діапазону коефіцієнтів витягування m від 0,20...0,25 до 0,80...0,85 на одній і тій же заготовці. Для його наукового обґрунтування проведено кількісне дослідження деформованого стану заготовок різних розмірів методом прецизійних координатних сіток при витягуванні інструментом з різними розмірами радіусів матриці, крайок пуансону та матриці.

Лабораторні дослідження першої стадії процесу витягування проведено на спеціалізованому експериментальному стенді, в склад якого входили випробувальна машина типу УИМ–50М з гідромеханічною системою запису силового режиму, витяжний штамп і електрична сигнальна система. В залежності від коефіцієнта витягування досліджено три можливі схеми процесу: 1) з отриманням деталі без стоншення (одна стадія); 2) витягування за рахунок зменшення початкової товщини металу на крайках пуансона і матриці та у вільній стінці (перша стадія) з подальшим витягуванням фланцю (друга і третя стадії); 3) витягування зі стоншенням до критичної глибини (перша стадія), що завершується руйнуванням заготовки. Для виключення впливу на процес витягування змін умов тертя на поверхнях контакту заготовка–інструмент, механічних властивостей матеріалу, швидкості деформування і інших чинників граничні умови експеримента певним чином фіксували: товщину початкової заготовки, матеріал, змащування, діаметри матриці і пуансона, радіуси скруглення крайок матриці і пуансона. Експериментальні дослідження силового режиму, виконані для різних коефіцієнтів витягування, показали, що в початковій стадії процесу графіки зусилля однакові для заготовок, витягування яких починається зі стоншення (перша стадія).

Для визначення деформації матеріалу заготовки при витягуванні у промислових умовах Керченського металургійного комбінату на витяжному штампі проведено експерименти по штампуванню деталей осесиметричного типу з різними коефіцієнтами витягування зі сталі марок 08кп, 10, 10кп і алюмінію А1. Для обробки експериментальних даних використовувались методи статистичного та регресійного аналізу. Отримані графіки розрахункових і експериментальних значень відносної деформації зміни товщини заготовок показали задовільну збіжність результатів. Довірчий інтервал експериментальних вимірювань відносних деформацій не перевищував 0,025.

Виходячи з узагальненої схеми, аналізували вплив кутів нахилу стінки α_c та матриці α_m на силовий режим та характер деформації. Встановили, що кут α_m залежить від відносної товщини заготовки та конструкції прижиму. Використання матриці з кутом $\alpha_m = 60^\circ$ при α_c близьким до нуля дозволяє зменшити коефіцієнт витягування m до 0,46...0,42 (проти звичайних 0,6).

Експериментальні дослідження процесу витягування дозволили обґрунтувати узагальнену математичну модель процесу витягування осесиметричних деталей і підтвердили адекватність прийнятих моделей течії металу, створених на базі енергетичного методу.

П'ятий розділ. На основі отриманих в роботі теоретичних залежностей розроблено методичку розрахунку технологічних процесів витягування осесиметричних деталей (з фланцем і без фланцю).

Розроблена методика дозволяє врахувати вплив на характер формозмінення всіх основних конструктивних і технологічних чинників, дає можливість управляти стоншенням матеріалу, використовувати граничні коефіцієнти витягування, прогнозувати брак по розривах, зменшити кількість операцій при витягуванні глибоких деталей. Розробка включає математичні моделі процесів витягування, методику розрахунку стоншення (потовщення), прогнозування можли-востей розривів і необхідні програмні засоби. Математична модель процесу базується на енер-гетичному методі аналізу процесів обробки металів тиском і дозволяє врахувати зміцнення матеріалу заготовки, що деформується, стоншення стінки і потовщення фланцю, вплив розмірів виробу і радіусів скруглення інструмента, технологічних чинників (змащення, наявність прижиму, його зусилля). Створена методика математичного моделювання є науковою базою підсистеми САПР для розробки технологічних процесів виготовлення деталей, прогнозування якості, точ-ності, оцінки можливості утворення браку по розривах стінки та його попередження, а також автоматизованого проектування технологічних процесів та конструювання витяжних штампів з використанням комп'ютерних технологій.

Розроблено алгоритми та програмні засоби для математичних моделей, що передбачають використання сучасної комп'ютерної техніки (комп'ютери типу IBM PC на базі процесорів Pentium 1 або їх більш продуктивні аналоги) та спеціалізованих математичних пакетів (MATHCAD).

Шостий розділ. Узагальнену схему аналізу процесів витягування було покладено в основу удосконалення процесів та конструкцій штампів для 17 моделей нерухомих ножів електробритв “Харків” зі сталі 30X13, що виготовляють на Харківському заводі електроапаратури.

Виробництво цих деталей було несталим через суттєву кількість браку по розривах стінки заготовки ножа. Зміна технології та конструкції штампа для виготовлення цієї деталі (подібної до деталі *b* на рис. 2) дозволила практично ліквідувати брак по тріщинах і відривах донця деталі, що засвідчено відповідним актом.

Методики розрахунку технологічних параметрів штампування заготовок, програмні засоби та рекомендації, запропоновані харківському ДП “Завод ім. Малишева”, сприяли інтенсифікації технологічних процесів витягування за рахунок додаткового силового впливу на фланець. На Керченському металургійному комбінаті інтенсифікацію технологічних процесів забезпечено шляхом більш повного використання зміцнення матеріалу заготовки та зменшення розрахун-кового коефіцієнту витягування. Ефективність запропонованих заходів засвідчено відповідними актами.

Визначено номенклатуру деталей, що виробляються на Харківському тракторному заводі, для яких заплановано першочергове використання результатів роботи.

ВИСНОВКИ

1. Інтенсифікація формозмінюючих процесів листового штампування, зокрема, процесів витягування, пов'язана з розробкою нових способів деформування, що характеризуються додатковими силовими і кінематичними впливами, диференційованим опором деформуванню, управлінням силами тертя, використанням попередньо зпрофільованих заготовок, тощо.

Застосування таких сучасних способів штампування у виробництві вимагає розробки уточнених розрахункових методик, в основі яких лежать математичні моделі, що враховують реальне деформаційне зміцнення для всіх точок заготовки, зміну товщини матеріалу в процесі деформування, вплив основних геометричних чинників і дозволяють прогнозувати можливості граничного формозмінення і якість отриманих виробів.

2. Уперше запропоновано універсальний метод аналізу різноманітних схем витягування (реверсивного, в конічній матриці) і відбортовування (внутрішнього і зовнішнього), який базується на побудові кінематично можливих полів швидкостей і енергетичному методі і дозволяє врахувати реальне зміцнення матеріалу заготовки в довільній точці за будь-яким законом, а також стоншення і потовщення вихідної заготовки в різних зонах. На цій науковій основі розроблено математичні моделі осесиметричних деталей, здійснено послідовний аналіз по стадіях, розроблено технологічні рекомендації процесів витягування.

3. Виведено залежності для розрахунку показників деформованого стану в різних зонах деформованої заготовки по ходу процесу, що дозволило врахувати і скорегувати значення гранично допустимих коефіцієнтів витягування за рахунок деформаційного зміцнення. Наприклад, для нержавіючих сталей урахування реального зміцнення дає можливість знизити коефіцієнт витягування на 15–18%.

4. Побудовані в роботі математичні моделі дозволили встановити залежність стоншення матеріалу при витягуванні від технологічних параметрів, розмірів заготовок, стадії деформування. Встановлено, що стоншення матеріалу в стінці і на радіусах заготовки найбільш інтенсивно відбувається на першій стадії витягування. Технологічні та конструктивні параметри, які найістотніше впливають на характер деформації і які можна використати для управління силовим режимом та стоншенням, це коефіцієнт витягування, тертя на контактних поверхнях пуансона і матриці, радіуси скруглення витяжних крайок інструмента, кут нахилу твірної матриці, зусилля тиску прижиму та його конструкція, а також додатковий силовий або кінематичний вплив на фланець.

5. Проведені в лабораторних і виробничих умовах експерименти підтвердили адекватність математичних моделей по розрахунку силового режиму, прогнозуванню зміни товщини матеріалу для різних типорозмірів заготовок і оцінки можливостей зниження коефіцієнта витягування (збільшення ступеню деформації) шляхом урахування впливу основних чинників, особливо деформаційного зміцнення матеріалів, для яких початок кривих течії характеризується значним градієнтом напруження. Дослідження по витягуванню у конічних матрицях дозволили встановити, що зменшення кута конусної частини матриці зменшує стоншення матеріалу заготовки у донній частині. Вплив конусності матриці та інших чинників досить складний, але він однозначно визначається за допомогою розроблених математичних моделей. Це дозволяє вибрати такі значення параметрів процесу, які забезпечують його інтенсифікацію.

6. Розроблено оригінальну методику експериментальної експрес-оцінки визначення граничних можливостей витягування листової заготовки, яка враховує комплексний вплив всіх визначених чинників на силовий режим і характер формозмінення заготовки. Методика базується

на використанні “ексцентричного витягування”, яке дозволило отримати діапазон зміни коефіцієнтів витягування m від 0,20...0,25 до 0,80...0,85.

7. Створено програмні засоби для розрахунку технологічних процесів витягування, що склали базу підсистеми САПР, яка дозволяє проводити технологічні розрахунки з урахуванням реального зміцнення та зміни товщини заготовки. На основі аналізу узагальнених математичних моделей, що базуються на енергетичному методі та кінематично можливих полях швидкостей, розроблено базу знань і рекомендації по удосконаленню технологічних процесів витягування осесиметричних деталей.

8. Результати досліджень використано в навчальному процесі, а також у вигляді програм-них продуктів передано на промислові підприємства для вдосконалення існуючих і розробки нових технологічних процесів. Нові методики розрахунків і технологічні процеси запропоновано для використання на харківських заводах ДП “Завод ім. Малишева” і електроапаратури та Керченському металургійному комбінаті. Визначено номенклатуру деталей, для яких заплановано першочергове використання результатів роботи. Внаслідок впровадження отримано економічний ефект у вигляді зниження браку і зменшення кількості технологічних переходів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Евстратов В.А., Торяник В.В., Левченко В.Н. Анализ процесса вытяжки // Кузнечно–штамповочное производство. – 1996. – № 4. – С. 2–5.

2. Левченко В.Н. Изменение толщины фланца при вытяжке // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1997; Вып. 27. – С. 142–145.

3. Левченко В.Н. Анализ начальной стадии процесса вытяжки // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998; Вып. 9. – С. 83–86.

4. Евстратов В.А., Кузьменко В.И., Левченко В.Н. Методика экспериментально-аналитического исследования напряженно-деформированного состояния процессов объемной и листовой штамповки // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999; Вып. 63. – С. 96–104.

5. Евстратов В.О., Левченко В.М., Кутецкий Я.В. Экспериментальные исследования особенностей формозменения та силового режима витягування осесиметричних деталей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999; Вып. 76. – С. 40–45.

6. Левченко В.Н. Методика математического моделирования процесса вытяжки листовых заготовок // Удосконалення процесів і обладнання виробництва та обробки металопродукції для металургії та машинобудування: Зб. наук. пр. – Краматорськ – Слов'янськ. – 2000; Вип. 2. – С. 204–206.

7. Левченко В.Н. Методика расчетов технологических процессов осесимметричной вытяжки // Укр. Гос. Н.-и. Ин-т. металлов – Харьков, 1999. – 14 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 13.12.99, № 320 – Ук. 99 // Аннот. в РЖ “Депоновані наукові роботи”, № 2, 2000.

8. Грушевой В.Н., Левченко В.Н. Совершенствование технологии штамповки неподвижного ножа электробритвы // Укр. Гос. Н.-и. Ин-т. металлов – Харьков, 1999. – 8 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 13.12.99, № 322 – Ук. 99 // Аннот. в РЖ “Депоновані наукові роботи”, № 2, 2000.

9. Евстратов В.А., Торяник В.В., Левченко В.Н. Анализ процесса вытяжки осесимметричных деталей // Сб. тр. международной науч.-техн. конференции “Информационные техно-логии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (Microcad–96). Ч. 1. – Харьков: ХГПУ. – 1996. – С. 60.

10. Левченко В.Н. Анализ изменения толщины фланца при вытяжке осесимметричных деталей // Сб. тр. международной науч.-техн. конференции “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (Microcad–97). Ч. 5. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – С. 183–186.

11. Евстратов В.А., Левченко В.Н. Влияние упрочнения на силовой режим вытяжки // Сб. тр. международной науч.-техн. конференции “Информационные технологии: наука, техника, техно-логия, образование, здоровье” (Microcad–97). Ч. 5. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – С. 166–169.

[1] – Автору належать побудова поля швидкостей, епюри тангенційних деформацій та отримання залежності зусилля витягування від ходу інструмента.

[4] – Автору належать матеріали, що стосуються листового штампування.

[5] – Автору належать розробка методики експериментальних досліджень та конструкції дослідної установки.

[8] – Автору належать внесення змін в конструкцію штампа та їх обґрунтування.

[9] – Автору належать чисельні рішення задачі впливу зміцнення, розмірів заготовки, коефіцієнту витягування на характер формозмінення і силовий режим процесу.

[11] – Автору належить розробка комп'ютерної програми для розрахунків і побудови наведених в роботі графіків.

АНОТАЦІЯ

Левченко В.М. Удосконалення технології листового штампування осесимметричних деталей на базі розроблених математичних моделей процесів витягування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – Процеси і машини обробки тиском. - Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2001 р.

Дисертацію присвячено розробці нових підходів до аналізу процесів витягування осесимметричних деталей на основі створення узагальнених математичних моделей, що дозволяє інтенсифікувати формозмінюючі процеси листового штампування. Створено на базі енергетичного методу математичні моделі процесів витягування, які дозволяють визначити напруження течії як функцію інтенсивності деформації в будь-якій точці заготовки, що витягується, на всіх стадіях процесу. Аналіз процесів витягування виконано з урахуванням зміни товщини заготовки, в тому числі в зоні фланцю, впливів згину металу на витяжній крайці матриці та прижиму заготовки. Встановлено, що деформаційне зміцнення суттєво впливає на граничний

коефіцієнт витягування і зусилля деформації. Одержані в роботі теоретичні залежності підтверджено експериментально. На основі результатів дослідження розроблено методику розрахунку технологічних параметрів штампування осесиметричних деталей, програмні засоби і технологічні рекомендації. Результати роботи впроваджено у виробництво при удосконаленні технологій штампування на ДП “Завод ім. Малишева” (м. Харків), Керченському металургійному комбінаті та Харківському заводі електро-апаратури.

Ключові слова: осесиметричні деталі, витягування, енергетичний метод, математична мо-дель, інтенсивність деформації, напруження течії, зміцнення, коефіцієнт витягування, зусилля де-формації.

АННОТАЦИЯ

Левченко В.Н. Совершенствование технологии листовой штамповки осесимметричных де-талей на базе разработанных математических моделей процессов вытяжки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением. - Донбасская государственная машино-строительная академия, Краматорск, 2001 г.

Диссертация посвящена разработке новых подходов к анализу процессов вытяжки осесим-метричных деталей на основе создания обобщенных математических моделей, что позволяет интенсифицировать формоизменяющие процессы листовой штамповки. Обоснована стадийность и возможные схемы протекания процессов вытяжки. Анализ произведен с учетом изменения толщины заготовки, в том числе в зоне фланца, влияния изгиба металла на вытяжной кромке матрицы и прижима заготовки. Созданы математические модели процессов вытяжки на базе энергетического метода, в рамках которых упрочнение материала рассматривается как функция интенсивности деформации для каждой точки с использованием любой имеющейся аппрок-симирующей зависимости диаграммы истинных напряжений. Кроме того они позволяют учесть утонение стенки и утолщение фланца деформируемой заготовки.

На основе анализа созданных математических моделей установлено, что учет влияния деформационного упрочения и изменения толщины заготовки для материалов, начало кривых течения для которых характеризуется большой величиной градиента напряжения текучести, позволяет уменьшить коэффициенты вытяжки. Так, для нержавеющей сталей уменьшение рас-четных коэффициентов вытяжки составляло до 15–18%.

Разработанные математические модели процессов позволяют учесть влияние на характер формоизменения конструктивных и технологических факторов (размеры изделия, радиусы скругления пуансона и матрицы, смазки, усилия прижима) и дает возможность рассчитывать утонение как функцию координат, использовать предельные коэффициенты вытяжки и прогнозировать разрывы металла, уменьшить число операций при вытяжке глубоких деталей. Разработанные программные средства реализации математических моделей предполагают исполь-зование современной компьютерной техники (компьютеры типа IBM PC на базе процессоров Pentium 1 или их более производительных аналогов).

Разработаны методика экспериментального исследования процесса вытяжки осесимметричных деталей и оригинальный экспресс-метод оценки штампуемости листового материала, позволяющий учесть комплексное влияние на процесс вытяжки широкого круга факторов, определяющих силовой режим и характер формоизменения заготовки. Спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд для исследования кинематики и силового режима вытяжки. Проведены экспериментальные исследования процесса вытяжки заготовок с различными коэффициентами в лабораторных и промышленных условиях, результаты которых подтвердили адекватность принятой модели течения металла. Полученные теоретические зависимости подтверждены экспериментально при вытяжке деталей из стали марок 08кп, 10, 10кп и алюминия А1 с различными коэффициентами вытяжки и показали хорошую сходимость с результатами эксперимента.

На основании результатов исследования разработана методика расчета технологических параметров штамповки осесимметричных деталей как с фланцем, так и без фланца и оценки деформируемости заготовки без разрушения. Получены зависимости, связывающие перемещение инструмента и изменение наружного размера фланца, функции перемещений и относительных деформаций для любой точки заготовки, компоненты тензора скоростей деформации для всех зон очага деформации заготовки, мощности внутренних сил сопротивления деформации, сил трения и общее усилие деформации для каждой стадии процесса. На базе созданной методики математического моделирования разработаны программные средства компьютерной реализации математических моделей, составившие основу подсистемы САПР, предназначенной для разработки технологических процессов изготовления деталей, прогнозирования качества и оценки вероятности образования брака. Результаты работы внедрены при совершенствовании технологий штамповки осесимметричных деталей на ГП “Завод им. Малышева” (г. Харьков), на Керченском металлургическом комбинате, заготовок неподвижных ножей 17 моделей электробритв на Харьковском заводе электроаппаратуры.

Ключевые слова: осесимметричные детали, вытяжка, энергетический метод, математическая модель, интенсивность деформации, напряжение текучести, упрочнение, коэффициент вытяжки, усилие деформации.

ABSTRACT

Levtchenko V.N. Perfecting of sheet metal press forming technology for axisymmetrical items on base designed mathematical models of deep drawing processes. – Manuscript.

Thesis on competition for scientific degree of candidate of engineering sciences in specialty 05.03.05 – Processes and machines of mechanical working. – Donbass State Machine-Building academy, Kramatorsk, 2001.

The dissertation is devoted to development of new approaches for cup-drawing process analyses, based upon developing generalized computer models, that provides intensification of sheet metal forming processes. Computer models of deep cup-drawing based upon The Upper Bound Method were elaborated. It allows to define yield stress as function of strain intensity for any points and over all stages of process. The deep cup-drawing analyses was carried out taking into account blank thickness changing, including

flange zone, effects of bend in die shoulder and blankholder. It has been shown that strain hardening has essential influence on minimum deep-drawing rate and deforming force. Experiments were performed and have exhibited good agreement with numerical simulations. As a result of this investigation software and technological instructions for cup-drawing processes were developed. The results of this work have been used for improving of technologies in State Enterprise “The Malyshev Plant” (Kharkiv), Kerch Metallurgical Plant and Kharkiv Electric Apparatus Works.

Key words: axisymmetric items, deep drawing process, the Upper Bound Method, computer model, strain intensity, yield stress, hardening, deep-drawing rate, deforming force.

Підписано до друку 20.02.2001 р.
Формат 60x90/16. Обсяг 1,0 ум. друк. арк.
Тираж 100 прим. Замовлення № 10.

Надруковано МП "Крок". м. Харків, вул. Чернишевська, 59