

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

БОБИЛЬОВ Олександр Леонідович

**ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, РОЗРАХУНКУ ЗУСИЛЬ
І ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ
ГІДРАВЛІЧНИХ ПРЕСІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ
МЕТАЛОБРУХТУ**

**05.16.08 — Машини і агрегати металургійного
виробництва**

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ — 1997

621.74



00738122 (N)

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському обласному вишньому
об'єднанні "Вторчормет" і Інституті геотехнічної механіки НАН Ук-
раїни.

Офіційні опоненти:

академік АН України,
доктор технічних наук,
професор Большаков В.І.

доктор технічних наук,
професор Колеснік І.А.

доктор технічних наук,
професор Франчук В.П.

Провідна організація -

НДІ "Чорметмеханізація"
(м.Дніпропетровськ).

Захист дисертації відбудеться "3" липня 1997 р.
о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 03.11.02 Державної металургійної академії України за адресов:
320600, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4, корп. 3.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної ме-
талургійної академії України за адресов: 320600, м. Дніпропет-
ровськ, пр. Гагаріна, 4.

Автореферат розіслано "31 травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

Цаско В.К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

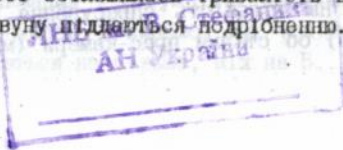
Актуальність роботи. Великий вплив на інтенсивність розвитку народного господарства здійснює збільшення використання повторної сировини як джерела додаткових матеріальних ресурсів, фактора зниження собівартості виробництва і зменшення капітальних витрат. Найбільш важливе значення, як за розмірами ресурсів, так і за цінністю, має металевий брухт. У даний час із металевого брухту виплавляють половину всієї сталі і більше половини чавунного лиття.

Основними технологічними машинами, за допомогою яких у промисловості здійснюється підготовка металевого брухту до переплаву, є пакетувальні й брикетувальні преси, гідравлічні ножиці й пресові установки для переробки чавунного брухту. Ці преси сконструйовані на достатньо високому технічному рівні. Однак вони ще далекі від досконалості з точки зору продуктивності, енергоспоживання, витрат на експлуатацію, якості продукції і поліпшення умов праці.

У науково-технічній літературі майже немає робіт по розрахунку і конструюванню пресів для переробки металобрухту. Тому проектувати нові преси, конструкція яких відмінна від діючих, дуже важко. При цьому не випадкові значні помилки при призначенні основних параметрів пресів.

Зразком невірного призначення зусилля пакетування може бути прес ЧПА-1000 із зусиллям пресування 10 МН на попередній і 6,3 МН на останній ступені пресування. При вивченні процесу пакетування на цьому пресі встановлено, що зусилля попередньої ступені пресування завищене більше, ніж у два рази, а зусилля 6,3 МН на останній ступені не завжди достатньо для отримання пакетів щільність 2000 кг/м³, як цього вимагає ГОСТ 2787-75.

Прикладом нерационального призначення зусиль пресів для переробки чавунного брухту служить установка для переробки чавунного брухту Дніпропетровського заводу пресів. При проектуванні зусилля головного преса було призначено 50 МН, допоміжного - 16 МН. Досвід експлуатації цих пресів показав, що зусилля головного преса завищене на 10-12 МН, і навпаки, зусилля допоміжного преса повинне бути на 5 МН більше прийнятого. У результаті помилки в призначенні зусиль на головному пресі збільшилась тривалість циклу, а на допоміжному не всі куски чавуну піддаються подрібненню.



Приведені приклади показують актуальність розробки науково обґрунтованих методів розрахунку пресів для переробки металевого брухту і відходів чорних металів, для розробки яких необхідне проведення подальших теоретичних і експериментальних досліджень пресування і різання металевого брухту.

Робота виконувалась у відповідності з постановою Ради Міністрів СРСР "Про підсилення роботи по економії і раціональному використанню сировинних, паливно-енергетичних та інших матеріальних ресурсів" та рекомендаціями комісії Придніпровського наукового центру Академії наук УРСР "Сучасні проблеми технічних наук" з питання "Поліпшення використання металевого брухту на підприємствах регіону" від 10 листопада 1982 року.

Мета роботи. Розробити на науковій основі методи розрахунку зусиль і рекомендації по вдосконаленню конструкцій гідравлічних пресів для переробки металевого брухту, які б забезпечили значну продуктивність і надійність у роботі при мінімальних витратах електроенергії.

Ідея роботи полягає у використанні щільно встановлених закономірностей процесів пресування і різання металевого брухту для створення нових і реконструкції діючих пресів для переробки металобрухту і відходів чорних металів з метою підвищення їх продуктивності та зменшення енергоспоживання.

Методика досліджень. У теоретичних дослідженнях використовувались фундаментальні положення і методи теорії механіки деформованого твердого тіла, теорії тертя, теорії випадкових процесів і моделювання.

В експериментальних дослідженнях використовувались методи із застосуванням сучасної тензометричної апаратури, засобів вимірювання параметрів гідросистем, а також методи планування експериментів, методи лабораторних досліджень фізичних моделей і промислових випробувань.

Наукові положення, які подаються на захист

1. Тиск, реалізований у камері пакетувального або матриці брикетувального преса при стисненні металевого брухту, залежить від коефіцієнта бокового тиску, що дорівнює відношенню приросту бокового тиску до приросту тиску пресування. У процесі пресування коефіцієнт бокового тиску збільшується пропорційно ступеню ущільнення металевого брухту.

2. На щільність спресування істотно впливає тертя пакета (брикета) об стінки прес-камери (матриці). Із збільшенням тиску

пресування коефіцієнт тертя зменшується за біноміальним законом і залежить від виду брухту та стану поверхні облицювальних плит прес-камери.

3. Зменшення щільності пакета після виштохування його з камери пакетувального преса, яке виникає внаслідок реалізації пружних сил при пресуванні, визначається коефіцієнтом зменшення щільності пакета, який залежить від тиску пресування, форми і співвідношення сторін перерізу пакета, а також від виду брухту. Із збільшенням тиску пресування коефіцієнт зменшення щільності пакета збільшується, а із збільшенням довжини - зменшується. Максимальне значення досягається при квадратній формі перерізу пакета.

4. Руйнування чавунного масиву на пресових установках відбувається у два етапи: спочатку утворюються дві макроскопічні тріщини, які якісно змінюють напружено-деформований стан масиву, у результаті чого на другому етапі відбувається розподіл масиву на частини внаслідок відриву, тому при визначенні робочого навантаження преса на стадії відриву треба враховувати спричинявані зрушенням структурні зміни в масиві.

5. Методи розрахунку гідропресів для переробки металевго брухту, які враховують знайдені автором закономірності процесів пресування і різання металевго брухту.

6. Метод фізичного моделювання процесу пресування металевго брухту при неідентичності напружених станів і фізико-механічних властивостей металобрухту моделі й натури, який дозволяє з мінімальними витратами на стадії проектування прогнозувати параметри і контролювати достовірність їх розрахунків.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються прийнятими припущеннями, які базуються на фундаментальних положеннях законів механіки, теорії деформівного твердого тіла, теорії пружності і теорії випадкових процесів.

Вірогідність результатів підтверджується даними великого обсягу лабораторних досліджень на моделях, спеціальних установках та промислових досліджень, які були виконані на діючих пресах із врахуванням специфіки їх експлуатації, сучасних методик випробувань, устаткування і приладів, що забезпечило потрібну точність вимірювань усіх досліджуваних параметрів.

Порівняння параметрів, отриманих у результаті досліджень, з результатами промислових випробувань показало, що якісно вони ідентичні, а кількісно відрізняються не більше, ніж на 5...10%.

Достовірність теоретичних досліджень успішно підтвердилась при проектуванні, виготовленні і тривалій промисловій експлуатації пакетувальних пресів ББ-І338, Б-І345, ПП-450; при реконструкції преса для переробки чавунного брухту зусиллям 55 МН та експлуатації гідравлічних ножиць НО-340. Так, наприклад, розрахункові зусилля попередніх ступенів пресування у пакетувальних пресів ББ-І338 і ПП-400 відрізнялись від фактичних не більше, ніж на 5..10%.

Наукова новизна досліджень полягає у тому, що в роботі вперше:

розроблено та науково обґрунтовано методи розрахунку зусиль гідравлічних пресів для переробки металевого брухту, які враховують всі іновлені автором залежності, що описують характер процесів ущільнення, подрібнення та різання металобрухту;

встановлено, що коефіцієнт тертя пакета (брикета) об стінки прес-камери (матриці) при пресуванні металевого брухту змінюється за біноміальним законом і залежить від виду брухту, тиску пресування і стану поверхні облицьовувальних плит пресової камери (стінок матриці);

показано, що коефіцієнт бокового тиску при пресуванні металобрухту є змінною величиною, яка змінюється прямо пропорційно ступеню ущільнення металобрухту в процесі пресування;

встановлено, що руйнування чавунного брухту на пресових установках відбувається в два етапи: спочатку утворюються дві макроскопічні тріщини, які якісно змінюють напружено-деформований стан масиву, в результаті чого на другому етапі відбувається розподілення куска чавуну на частини внаслідок відриву;

показано, що зміну щільності пакета після його виштовхування з камери пакетувального преса слід враховувати за допомогою коефіцієнта зменшення щільності пакета, який залежить від тиску пресування, форми і співвідношення сторін перерізу пакета, а також від виду брухту;

розроблено метод фізичного моделювання процесу пресування металобрухту при неідентичності напруженого стану та фізико-механічних властивостей металевого брухту моделі й натурі;

показано, що в станинах рамного типу пресових установок для переробки чавунного брухту при асиметричному прикладенні технологічних навантажень виникають напруги значно менші, ніж у станинах колонного типу.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку теорії пакетування і брикетування металевого брухту. Уперше показано, що коефіцієнти тертя і бокового тиску при пресуванні металевого брухту є змінними величинами, причому перший змінюється за біноміальним законом, а другий – пропорційно ступеню ущільнення металобрухту.

Для проведення подальших наукових досліджень на основі теорії подібності розроблена методика моделювання процесу пакетування сталюого брухту при неідентичності напружених станів моделі та натурі, а також у випадку різних міцнісних характеристик металобрухту.

Дослідження механізму руйнування чавунних масивів на пресових установках показали, що процес руйнування, що ініціюється як зріз, якісно змінює напружено-деформований стан масиву і далі поширюється як відрив, що дозволило уточнити розрахункову схему визначення руйнівного зусилля.

Практична цінність. Розроблено науково обгрунтовані методи розрахунку зусиль пакетувальних і брикетувальних пресів, які дозволяють при проектуванні пресів раціонально призначати силові параметри цих машин, виходячи з заданої щільності та розмірів пакетів і брикетів.

Запропоновано методи розрахунку зусиль різання сталюого брухту на гідравлічних ножицях і розколювання чавунного брухту на пресах для переробки чавунного брухту, які дозволяють ефективно використовувати потужність ножиць і раціонально витратити електроенергії при переробці чавунного брухту.

Сформульовано основні напрямки подальшого вдосконалення пресів для переробки металобрухту і запропоновано ряд принципово нових конструкцій пресів, які дозволяють значно зменшити витрати електроенергії при їх експлуатації.

Уперше розроблено методику розрахунку інструменту гідропресів для переробки чавунного брухту.

Апробація роботи. Матеріали роботи були повідомлені, обговорені й схвалені на Всесоюзній секції НТС Вторчормету /Горький, 1974/; на Всесоюзній науково-технічній нараді по підвищенню якості металобрухту для сталеплавильного виробництва /Челябінськ, 1976/; на секції Вторинних чорних металів Українського НТС чорних металів /Дніпропетровськ, 1981, 1992; Рівно, 1983; Севастополь, 1984; Львів, 1985; Київ, 1990, 1991/; на Республіканській науково-технічній конференції "Технічне переозброєння і упродовження

нових ресурсозберігальних технологій в електросталеплавильному виробництві" /Дніпропетровськ, 1989/; на Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми теорії і технології підготовки залізорудної сировини для доменного виробництва і безкоксової металургії" /Дніпропетровськ, 1990/; у Придніпровському науковому центрі АН УРСР /Дніпропетровськ, 1982/.

Реалізація результатів роботи. Визначена автором залежність щільності пакетів від тиску пресування та конструктивних особливостей преса використана Новосибірським заводом "Важстанкогідропрес" при проектуванні пакетувальних пресів зусиллями 31,5 та 16,0 МН.

Формули для визначення зусиль по ступенях пресування використані Дніпропетровським заводом пресів при проектуванні преса зусиллям 6,3 МН. Визначення зусилля пресування за запропонованими формулами дозволило зменшити установочну потужність електродвигунів з 403 до 303 кВт і скоротити тривалість циклу з 105 до 92 секунд, що дало річний економічний ефект 51 тис. крб. для кожного з пресів даної серії.

Методика розрахунку зусиль пресів для переробки чавунного брухту та рекомендації по вдосконаленню конструкцій пресів використані Дніпропетровським об'єднанням "Вторчормет" при реконструкції преса "5600" для переробки чавунного брухту. Річний економічний ефект склав 180 тис. крб.

Рекомендації по вдосконаленню конструкцій пресів використані Дніпропетровським об'єднанням "Вторчормет" при проектуванні та виготовленні гідравлічного преса зусиллям 4,5 МН. Створення преса за новою конструктивною схемою, розробленою автором, дозволило збільшити щільність пакетів і зменшити витрати електроенергії. Річний економічний ефект склав 257 тис.крб.

Результати досліджень автора по встановленню залежності між зусиллям різання металобрухту та його кількістю, яка одночасно знаходиться в процесі різання на гідравлічних ножицях, використані Дніпропетровським об'єднанням "Вторчормет". Вони дозволили розробити заходи по забезпеченню використання у повному обсязі потужностей двох гідравлічних ножиць Н0-340, у результаті чого їх проектна потужність була освоєна на 122,5 %, що дало річний економічний ефект 340 тис.крб.

Економічні ефекти зазначені у цінах 1988 року.

Публікації. По основному змісту дисертації опубліковано 3 монографії, 28 статей, отримано 5 авторських свідоцтв.

Обсяг та структура роботи. Дисертація складається із вступу, 8 глав, висновків, списку літератури із 283 найменувань, додатків і вміщує 259 сторінок машинописного тексту, 8 таблиць та 48 малюнків.

I. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Створення нових моделей пресів для переробки металевго брухту, які мають велику надійність у роботі та мінімальне споживання електроенергії, нерозривно пов'язане з вивченням процесів, що відбуваються при пресуванні і різанні металобрухту, та розробкою теорії цих процесів.

Істотний вклад у розробку та розвиток теорії процесів пресування і різання металевго брухту, а також вдосконалення конструкції пресів для переробки металобрухту внесли вчені С.Є.Барк, О.М.Бєлявський, О.С.Буренко, М.Т.Васильєв, В.Ф.Вольф, Г.П.Головський, І.Н.Гончаров, Б.В.Гузєв, Ю.Г.Дорофєєв, А.І.Зазимко, В.І.Моїссєєв, С.І.Морозов, В.Н.Неїмушій, В.І.Петоцький, П.І.Пузирьков, С.Г.Рудєвський, О.А.Семенов, Л.І.Цехнович, С.Ф.Чукмасов, Н.С.Ширенко та інші.

Важливий вклад в удосконалення конструкцій пресів внесли Азовський завод ковальсько-пресового устаткування, Дніпропетровський завод пресів, Новосибірський завод "Важстайкогідропрес", Одеський завод пресів, Ждярський машинобудівний завод (ЧССР) і фірми Гаріс Фаунді (США), Голланд Хенінг (США), Ліндеманн (ФРН).

Проте аналіз робіт по вдосконаленню конструкцій пресів та досвід їх експлуатації свідчать, що для створення пресів нового технічного рівня ефективності та надійності потрібна подальша розробка науково обґрунтованих методів розрахунку силових параметрів пресів і створення нових конструкцій пресів, які принципово відрізняються від діючих.

Дана робота направлена на розв'язання цих питань. У першу чергу в ній розглядаються задачі подальшої розробки теорії пресування і різання металевго брухту, науково обґрунтованих методів розрахунку зусиль пресів, а також розробки і впровадження принципово нових конструкцій пресів для переробки металевго брухту.

2. РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКУ ПАКЕТУВАЛЬНИХ ПРЕСІВ

2.1. Тертя і боковий тиск при пресуванні металобрухту

Під час досліджень, проведених автором раніше спільно з П.І.Пузирьковим, уперше вдалося окремо виміряти числові значення сил тертя і бокового тиску. У результаті досліджень встановлено, що коефіцієнти тертя і бокового тиску, які раніше вважалися постійними величинами, — величини змінні і залежать від тиску пресування та щільності пакетів.

Однак при дослідженні пакетувального преса ПП-450, на якому можна пресувати пакети щільністю 2,5–3,0 т/м³ і більше, було встановлено, що раніше запропоновані формули для знаходження коефіцієнтів тертя і бокового тиску потребують уточнення.

З цієї мети автором була сконструйована прес-камера з тонкостінним корпусом, що дало змогу з більшою точністю знайти числові значення коефіцієнтів тертя і бокового тиску. Обробка експериментальних даних (рис. 1) свідчить, що зміна коефіцієнта бокового тиску ξ описується функцією

$$\xi = \frac{\gamma_n}{\gamma_{ст}} \xi_{ст}, \quad (1)$$

де γ_n — щільність пакета; $\gamma_{ст}$ — густина сталі; $\xi_{ст}$ — коефіцієнт бокового тиску для монолітної сталі.

Обробка дослідних даних (рис. 2) дозволила також одержати уточнену емпіричну формулу для визначення коефіцієнта тертя f при пакетуванні металевго брухту

$$f = \frac{1}{k_n \sqrt{p}} + v, \quad (2)$$

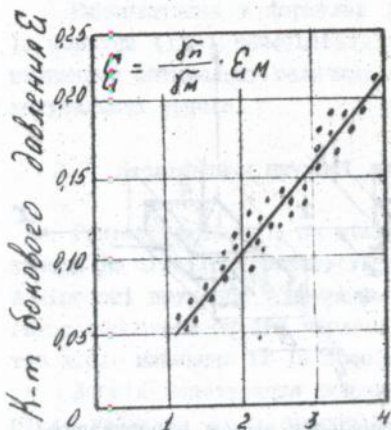
де k_n — коефіцієнт виду брухту; p — тиск пресування; $v = 0,1-0,2$ — коефіцієнт, який враховує змазування і стан поверхні облицьовувальних плит прес-камери і штемпелів.

2.2. Розрахунок зусиль пакетувальних пресів

При дослідженні процесу пакетування металевго брухту проф. Л.І.Цехнович одержав формулу для визначення середніх поздовжніх напружень у пакеті

$$\sigma_{\text{ксп}} = \frac{P}{\mu \Gamma C l} \left(1 - e^{-\mu \Gamma \frac{C l}{S}} \right). \quad (3)$$

де P - зусилля пресування; μ - коефіцієнт пропорційності між поперечними та поздовжніми напруженнями; Γ - коефіцієнт тертя пакета об стінки прес-камери; C - периметр поперечного перерізу пакета; S - площа поперечного перерізу пакета; l - довжина пакета.



Плотность пакетов $\gamma, \text{г/м}^3$ Давление $P, \text{МПа}$



Рис.1. Залежність коефіцієнта бокового тиску від щільності пакета

Рис.2. Залежність коефіцієнта тертя від щільності пакета.

Проте великою перешкодою до практичного використання цієї формули стала відсутність у ній залежності між тиском пресування P і щільністю пакета γ , а також відсутність відомостей про роздільні значення μ і Γ для металобрухту.

Автор в одній із своїх перших робіт запропонував наступну формулу для знаходження залежності між тиском пресування P і щільністю пакета γ з урахуванням усього комплексу факторів, які впливають на щільність: виду брухту K_d і температури нагрівання брухту K_T , перерізу K_C і довжини пакета K_L , конструктивних особливостей пресів K_K :

$$P = P_0 \cdot \exp \left(\frac{f}{0,31 K_d K_T K_C K_L K_K} \right). \quad (4)$$

Пізніше автор і П.І.Пузирьков, використавши запропонований вченими ДМетІ метод визначення умовних головних напружень у пакеті, формулу (4), яку отримав автор, і числові значення коефіцієнтів тертя та бокового тиску, одержані автором спільно з П.І.Пузирьковим, розробили методику знаходження напруженого стану у будь-який момент пресування та формули для знаходження зусиль по ступенях пакетування.

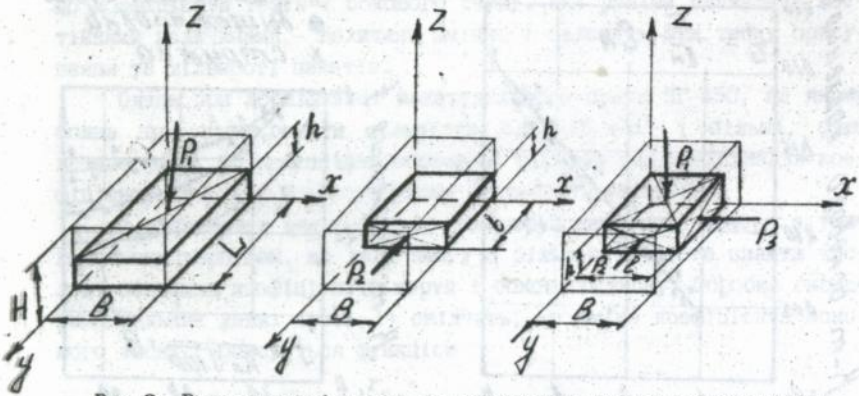


Рис.3. Розрахункові схеми до визначення зусиль пакетування.

З урахуванням прийнятої системи координат на рис. 3 напруження визначаються залежностями:

для першого ступеня

$$\sigma_{z_1} = \frac{P_1}{\xi_1 f_1 m_1} \left(1 - e^{-\xi_1 f_1 m_1} \right); \quad \sigma_{x_1} = \sigma_{y_1} = \xi \sigma_{z_1}; \quad (5)$$

для другого ступеня

$$\sigma_{y_2} = \frac{P_2}{\xi_2 f_2 m_2} \left(1 - e^{-\xi_2 f_2 m_2} \right); \quad \sigma_{x_2} = \sigma_{z_2} = \xi \sigma_{y_2}; \quad (6)$$

для третього ступеня

$$\sigma_{x_3} = \frac{P_3}{\xi_3 f_3 m_3} \left(1 - e^{-\xi_3 f_3 m_3} \right); \quad \sigma_{y_3} = \sigma_{z_3} = \xi \sigma_{x_3}; \quad (7)$$

де p – тиск пресування; ξ – коефіцієнт бокового тиску; f – коефіцієнт тертя; m – коефіцієнт гальмування.

Найбільші сумарні напруження в пакеті і найбільші зусилля виникають у кінці пресування третього ступеня. Ураховуючи

послідовність прикладення навантаження, зусилля по ступенях пресування визначаються

$$P_1 = P_1 F_1 + \xi_2 \sigma_{np2} F_2 + \xi_3 \sigma_{np3} F_3; \quad (8)$$

$$P_{11} = P_2 F_2 + \xi_3 \sigma_{np3} F_3; \quad (9)$$

$$P_{111} = P_3 F_3. \quad (10)$$

Використання у формулах (5)-(7) коефіцієнта бокового тиску із формули (1) і коефіцієнта тертя із (2) дає змогу дуже точно визначити оптимальну величину зусилля по ступенях пресування пакетувальних пресів.

2.3. Дослідження пружної деформації при пакетуванні брухту

Раніше визначено, що після виштовхування пакетів із пресової камери їх щільність зменшується. Проте до теперішнього часу закономірності пружного розширення пакетів вивчено недостатньо. Тому автор спробував знайти числові значення пружної деформації пакетів після виймання їх із пресової камери.

Досвід пакетування показав, що зменшення щільності пакетів після виймання їх з пресової камери залежить від виду брухту, тиску пресування і розмірів пакетів, у першу чергу - від їх довжини.

Автор виконав дослідження впливу цих факторів на пружну деформацію пакетів. Дослідження залишкової деформації пакетів проводились на пакетувальних пресах ЧПА-1000 і БА-1642. Ці преси давали змогу одержувати пакети однакових розмірів при порівняно великому змінванні тиску пресування (2,0-22,5 МПа). Розміри пакетів у прес-камері розраховували по ходу штемпелів за допомогою спеціального пристрою, який складається з селсин-датчика та селсин-приймача. Зусилля штемпелів оцінювали по тиску рідини у гідروциліндрах, який вимірювався електроконтактним манометром.

У результаті обробки експериментальних даних отримана емпірична формула для визначення коефіцієнта зменшення щільності пакетів після виймання їх із пресової камери

$$n = 1 - \frac{1}{K_d K_c K_l 1n 1Op}, \quad (11)$$

де K_d - коефіцієнт довжини пакета; K_c - коефіцієнт форми перерізу пакета; K_l - коефіцієнт виду брухту; p - тиск пресування.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР ЗУСИЛЬ БРИКЕТУВАЛЬНИХ ПРЕСІВ

3.1. Способи брикетування

Спочатку металурги зробили спробу брикетувати металеву стружку за допомогою різноманітних сполучних речовин (рідкого скла, цементу та ін.) при тиску 10-50 МПа, але вона не дала позитивних результатів. Цей спосіб вимагає витрат додаткових матеріалів, тому надто дорогий, і при вишлавці металу утворюється додаткова кількість шлаків.

Більш раціональним способом є брикетування стружки без сполучних матеріалів, але при великих тисках - 200-250 МПа.

У різний час запропоновано та спробовано декілька інших способів брикетування стружки: електробрикетування, імпульсне брикетування, брикетування за допомогою вібрації. Проте всі вони виявились непрацездатними, малоефективними, а тому промислового застосування не знайшли. У той же час у машинобудуванні утворюється велика кількість стружки, наприклад, титанової, яка навіть у нагрітому стані не брикетується. Відомо також, що алюмінієву стружку легко спресувати в брикети. Це послужило підставою для проведення автором досліджень по вивченню брикетування алюмінієвої стружки спільно зі стружкою із високолегованих марок сталей.

У результаті експериментів встановлено, що при доданні 15-20 % алюмінієвої стружки до стружки із легованих марок сталей міцність брикетів відповідає вимогам ГОСТ 2787-75.

Отримання брикетів із зазначеної композиції дає змогу здійснювати одночасно легування основного металу іншими елементами для надання спеціальних властивостей і змінювати структуру металу за допомогою розкислення алюмінієм.

3.2. Дослідження процесу брикетування металевої стружки

Суть процесу брикетування полягає в ущільненні деякої кількості дисперсного матеріалу стисненням, при якому відбувається зменшення початкового об'єму і формування його в брикети заданої форми. Зміна початкового об'єму дисперсного матеріалу істотно відрізняє його деформацію від деформації суцільного матеріалу, об'єм якого тільки незначно змінюється при прикладенні навантаження. При пресуванні металевої стружки деформація виявляється спочатку у роздробленні стружки, а потім у згині її витків.

Аналіз процесу брикетування показує, що найбільш інтенсивне стиснення відбувається на першій стадії процесу, що пов'язане з перерозподілом елементів стружки та їх більш щільним пакуванням під впливом зовнішніх сил. Стиснення на першій стадії пов'язане з руйнуванням так званих "арок" і відбувається за рахунок вільного переміщення витків стружки відносно один одного.

Друга частина процесу характеризується тим, що щільно упаквані елементи стружки при прикладенні навантаження вже не можуть вільно переміщатися відносно один одного. Відбувається деформація і дроблення елементів усередині брикета.

Слід відзначити, що різкої межі між двома стадіями брикетування немає. Проте можна зробити висновок про вплив на процес ущільнення переміщення витків стружки на першій стадії деформації і руйнування на другій стадії, причому чим пластичніший метал стружки, тим при менших тисках починається ущільнення за рахунок деформації витків.

Проведені автором дослідження дозволили встановити залежність щільності брикетів від основних факторів, які впливають на щільність: схема і тиск пресування, вид стружки і температура її нагрівання перед брикетуванням, розміри брикетів. Після обробки результатів досліджень залежність щільності брикетів від названих факторів вдалося описати функцією

$$\gamma = a \ln \frac{p}{p_0} k_1 k_2, \quad (12)$$

де γ - щільність брикета; a - коефіцієнт, який враховує вид стружки, p - тиск пресування; p_0 - нормувальний коефіцієнт; k_1 - коефіцієнт, який враховує вплив відношення висоти до діаметра брикета на його щільність; k_2 - коефіцієнт, який враховує ступінь нагрівання стружки перед брикетуванням.

Стружка в матриці при пресуванні піддається об'ємному тиску. У якійсь мірі стружка веде себе подібно рідині, тобто прагне заповнити увесь простір матриці, внаслідок чого виникає тиск на стінки матриці. Але на відміну від рідини, яка рівномірно передає тиск на всіх напрямках, у стружці виникає нерівномірність тиску на стінки, бо ступінь тиску стружки у різних частинах матриці неоднаковий. Відбувається це тому, що на бокові стінки матриці та прес-шайбу передається значно менше тиску із-за сил тертя, які ускладнюють переміщення окремих елементів стружки у різні сторони, що створює нерівномірність щільності брикета по об'єму.

Відношення бокового тиску на стінках матриці до тиску пресування називають коефіцієнтом бокового тиску ξ .

Як свідчать експерименти, виконані автором для сталюї та чавунної стружок, коефіцієнт бокового тиску в будь-який момент пресування описується лінійною функцією

$$\xi = \frac{\gamma_t}{\gamma_m} \xi_m, \quad (13)$$

де ξ - середнє значення коефіцієнта бокового тиску; γ_t - щільність брикета в даний момент пресування; γ_m - густина сталі або чавуну в монолітному стані; ξ_m - коефіцієнт бокового тиску для сталі або чавуну.

У загальному випадку зусилля пресування залежить від дисперсності та міцності стружки, а також від тертя у парі стружка-матриця. Коефіцієнт тертя, як показали дослідження автора, визначається тією ж залежністю, що й при пресуванні сталюго брухту малої ваги.

3.3. Розрахунок основних параметрів брикетувальних пресів

Від зусилля брикетувальних пресів залежать основні показники якості брикетів: щільність і міцність. Установлено, що міцність брикетів сталювої і чавунної стружок тим більша, чим більша їх щільність, а при щільності 4500-5000 кг/м³ відповідає вимогам ГОСТ 2787-75. Тому розрахунок силових параметрів брикетувальних пресів може бути зведений до визначення зусиль брикетування в залежності від щільності і розмірів брикетів, а також зусилля виштовхування брикетів із матриці.

При проектуванні брикетувальних пресів як вихідні дані задаються маса та щільність брикетів. Ураховувчи, що оптимальні розміри брикетів відповідають значенням $n \cdot D = 0,5$, діаметр брикетів визначається як

$$D = 2\gamma \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi\gamma_0}}, \quad (14)$$

де Q - маса брикета; γ_0 - щільність брикета в матриці.

Зусилля брикетування визначається з урахуванням залежності щільності брикетів від різних факторів за формулою

$$P = \frac{\pi D^2}{4} p_0 \exp(\gamma_0 / a \cdot k_1 \cdot k_2), \quad (15)$$

Зусилля, потрібне для виштовхування брикета з матриці, залежить від сил тертя і бокового тиску. Проведені автором дослідження сил тертя і бокового тиску, які виникають у матриці преса при пресуванні стружки, дозволили встановити наступну залежність зусилля виштовхування брикета $P_{вт}$ від тиску пресування p , діаметра D і висоти h брикета, коефіцієнтів тертя f і бокового тиску ξ :

$$P_{вт} = \pi Dhpf\xi. \quad (16)$$

4. МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ ЧАВУННОГО БРУХТУ І РОЗРАХУНОК ЗУСИЛЬ ПРЕСІВ ДЛЯ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

4.1. Механіка руйнування чавунного брухту

Руйнування чавунних масивів може відбуватися при розтяганні, стисненні, скручуванні або згині. Проведені дослідження показали, що з зазначених способів руйнування найбільш ефективним є руйнування чавунного брухту стискувачем навантаженням.

У феноменологічних теоріях міцності розрізняють два види руйнування: відрив у результаті дії розтягувачих напруг і зріз під дією дотичних напруг. Звичайно відрив відповідає крихкому, а зріз - в'язкому руйнуванню.

Процес руйнування починається з утворення субмікроскопічних тріщин і закінчується макроскопічним поділом масиву. Будь-якому руйнуванню металу, у тому числі і занадто крихкому, передус пластична деформація. Тільки перед крихким руйнуванням вона значно менша, ніж перед в'язким.

Особливість руйнування чавунного брухту полягає в тому, що чавун на відміну від більшості металів - матеріал крихкий. Він, як і всі метали, має кристалеву структуру. Але в об'ємцентрованої кубічній структурі чавуну відсутні площини щільної упаковки, тому, як і всі інші метали з такою структурою, при стисненні чавун руйнується шляхом відриву, на відміну від металів щільноупакованої структури, у яких при прикладенні критичних навантажень на стиснення, як правило, відбувається зріз.

З метою отримання залежності "руйнівне зусилля - розміри чавунного масиву" автором здійснено вивчення руйнування чавуну на промисловому пресі зусиллям 55 МН. Для вивчення процесу руйнування чавуну на пресі були проведені дві серії дослідів. У першій до випробуваних зразків прикладали зусилля, які не викликали

роз'єднання зразка на частини. Після розвантаження були виявлені залишкові пластичні деформації, які свідчили про розвиток від меж площинки клина тріщин з утворенням двох макроскопічних площин зрушення.

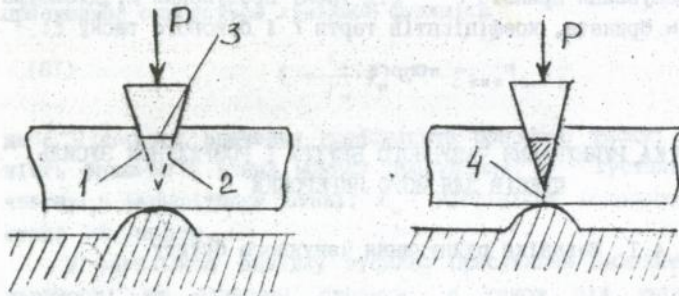


Рис.4. Схема руйнування чавунного масиву

У другій серії дослідів випробувані зразки навантажувались до їх руйнування. У процесі деформування зразків візуально спостерігалась поява двох макроскопічних площин зрушення 1 та 2 (рис. 4), які розвивались від меж площинки контакту клина із зразком. Слід відзначити, що при утворенні макроскопічних площин руйнування відбувається якісна зміна напружено-деформованого стану зразка. Навантаження від робочого інструменту на тіло зразка передається через похилу площину зсуву і у вертикальному перерізі 4 у зразка виникають розтягуючі напрути. Подальше руйнування зразка – роз'єднання його на частини – відбувається із-за відриву по вертикальному перерізу 4.

Таким чином, головною особливістю процесу руйнування чавуну при його стисненні на пресових установках є наявність двох послідовних стадій – зсуву та відриву.

Процес руйнування зсувом відбувається у зоні під площадкою контакту зразка із клином і не викликає повного руйнування досліджуваного зразка. Тому при визначенні робочого (руйнівного) навантаження пресової установки на стадії крижкого відриву треба враховувати структурні зміни в зразку, викликані зсувом, що дуже складно.

Визначальним фактором руйнування чавунних масивів є напруження від бокового тиску, який виникає при прикладенні до роздавленого куска чавуну стискаючого навантаження. Тому була

здійснена спроба знайти залежність зусилля P розколювання чавунних масивів у вигляді

$$P = f(\xi, \sigma_{\text{вр}}, b, h, k), \quad (17)$$

де ξ - коефіцієнт бокового тиску; $\sigma_{\text{вр}}$ - границя міцності чавуну на розтягування; b і h - ширина і висота розколюваного масиву; k - коефіцієнт, який враховує вплив кута загострення клина та ширину його робочої кромки на зусилля руйнування чавуну.

Експериментальні дослідження по визначенню зусиль, потрібних для різання чавунного брухту, дозволили встановити зв'язок між зусиллям розколювання, міцністю та розмірами кусків чавуну. У результаті обробки експериментальних даних знайдена емпірична залежність зусилля розколювання P від границі міцності $\sigma_{\text{вр}}$, ширини b та висоти h розколюваних кусків чавуну

$$P = k\xi\sigma_{\text{вр}}bh. \quad (18)$$

Ця залежність дійсна для руйнування чавунних масивів товщиною від 50 до 450 мм. При товщині чавуну менше, як 50 мм, зусилля розколювання мають значний розкид, при товщині більшій, ніж 450 мм, процес руйнування не досліджувався.

4.2. Розрахунок параметрів інструменту для розколювання чавуну

Збільшення продуктивності та надійності роботи пресових установок для переробки чавунного брухту нерозривно пов'язане з ефективністю та надійністю інструменту преса.

Ефективність роботи пресів для переробки чавунного брухту у значній мірі залежить від конфігурації клина та ширини його робочої кромки. Для вивчення впливу кута загострення клина та ширини його робочої кромки на зусилля розколювання чавуну автором проведено дві серії дослідів.

У першій вивчали вплив кута загострення клина на зусилля розколювання чавунного брухту та термін служби клина. У другій серії автор вивчав вплив ширини робочої кромки на зусилля розколювання та термін служби клина.

У результаті досліджень встановлено, що з технічної та економічної точок зору найбільш оптимальний кут загострення клина - 40 градусів, а раціональна ширина робочої кромки - 8 мм (для переробки чавунного брухту товщиною до 200 мм) та 10 мм (при товщині чавуну 200 мм і більше).

Другим важливим за ступенем впливу на величину зусилля розколювання чавунного масиву елементом інструмента преса для переробки чавунного брухту є циліндричний виступ на робочому столі преса.

Циліндричний виступ призначений для концентрації напружень у розколюваному масиві, які виникають із сторони, протилежної від лінії зіткнення клина з масивом чавуну.

На циліндричний виступ накладаються значні навантаження, які на клин, але на відміну від останнього він не може бути змінений у процесі експлуатації, а відновлюється тільки під час капітальних ремонтів. Тому велике значення при конструюванні циліндричного виступу має призначення оптимального радіуса виступу та знаходження напружень, які виникають при навантаженні виступу.

Як розрахункову схему для визначення радіуса циліндричного виступу розглянемо плоску контактну задачу про взаємодію циліндричного тіла радіуса R з пружним напівпростором. Відповідно з результатами, приведеними у монографії К.Джонсона, розповсюдження контактної тиску має вигляд

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi ab} \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^{1/2}, \quad (19)$$

де P - зусилля преса; b - довжина виступу; a - напівширина площадки контакту, яка визначається рівністю

$$a^2 = \frac{4PR}{\pi b E^*}, \quad (20)$$

де E^* - зведений модуль пружності системи.

Максимальний контактний тиск p_{\max} отримуємо з формули (19), підставивши $x=0$

$$p_{\max} = \frac{2P}{\pi ab}. \quad (21)$$

Підставивши у формулу (20) значення (21), отримаємо

$$p_{\max} = \sqrt{\frac{PE^*}{\pi \sigma R}}. \quad (22)$$

Якщо допущений контактний тиск дорівнює $[\sigma]$, то величина радіуса визначається з умови

$$R \geq \frac{PE^*}{\pi b [\sigma]}. \quad (23)$$

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ НОЖИЦЬ ДЛЯ РІЗАННЯ СТАЛЬНОГО БРУХТУ

5.1. Вибір схеми різання металобрухту

Для різання металобрухту застосовують ножиці з паралельними ножами. На відміну від інших конструкцій (алігаторних, дискових), вони забезпечують більшу продуктивність і легко піддаються автоматизації. Конструктивно ножиці з паралельними ножами можна поділити на три типи: ножиці з прямими ножами, ножиці гільйотинного типу та ножиці з ножами шевронної форми.

Ножиці з прямими ножами прості за будовою, надійні, але поширення не здобули, бо порівняно з гільйотинними та ножами шевронної форми вони потребують більших зусиль для різання металевого брухту.

При різанні металевого брухту на гільйотинних ножицях опір різанню чинить не вся поверхня поперечного перерізу кусків брухту, а якась його частина. Завдяки похилому розташуванню ножа потрібне менше зусилля різання. Проте під час різки металобрухту на гільйотинних ножицях виникають неоднакові навантаження в стінках станини, брухт нагромаджується під однією стороною станини, що призводить до їх передчасного руйнування.

Ножиці з ножами шевронної форми, внаслідок нахилу ножів, потребують, як і гільйотинні, меншого зусилля різання, а симетричне розташування верхніх похилих ножів урівноважує навантаження у стійках станини. Крім того, на відміну від гільйотинних ножиць, при різанні куски брухту займають більш стійке положення, що дозволяє зробити кут нахилу ножів удвоє більшим (5-10 градусів), ніж у гільйотинних (3-5 градусів). Це, у свою чергу, дає змогу різати металобрухт більшого перерізу.

Конструкції ножиць відрізняються також за способом підготовки металобрухту до різання. У даний час виготовляють ножиці з підпресуванням кусків брухту в жолобі перед різанням або стисненням брухту, перед скиданням його в лоток жолоба, по якому брухт подається під ніж на різання. Найбільш досконалою є друга конструкція, бо вона дозволяє різати металобрухт, який складається з об'ємних конструкцій, сільгосподарський та автомобільний брухт.

5.2. Експериментальні дослідження гідравлічних ножиць

Експериментальні дослідження проводились на гідравлічних ножицях НО-340 Новосибірського заводу «Важстанкогідропрес».

Під час досліджень визначали залежність зусиль різання від розміру щілини між ножами та ступеня їх зносу. Вивчали роботу механізму подачі металобрухту, а також характер та причини зношення окремих деталей вузлів ножиць, у першу чергу механізмів різання і притиску.

Для забезпечення великої кількості вимірювань зусиль різання останні визначалися за спрощеною схемою. З цією метою тиск робочої рідини у гідроциліндрах вимірювався електроконтактним манометром, у якому замість контактної важеля, що подає електричний сигнал у момент досягнення в гідросистемі певного тиску, встановлювали важіль-вказівник, який фіксував максимальний тиск. Після кожного різання важіль повертали в початковий стан вручну.

При дослідженні залежності зусилля різання від кількості металобрухту, що одночасно знаходиться у процесі різання, розміри поперечного перерізу останнього визначали шляхом обміру кусків брухту, що залишилися після різання під штемцелями механізму притиску.

У результаті досліджень встановили залежність зусиль різання від кількості металобрухту, що знаходиться у процесі різання, ступеня затуплення ножів і величини зазору між ними.

Запропоновано ряд нових конструктивних рішень окремих механізмів гідравлічних ножиць, зокрема нова конструкція механізму відводу штемцеля подачі металобрухту до різання.

5.3. Визначення зусиль різання металевого брухту

Процес різання металу на ножицях складається з трьох періодів: вм'яття ножів у метал, при цьому зусилля на ніж поступово збільшується до максимального значення P_{\max} ; власне різання, при якому зусилля різання зменшується по мірі зменшення перерізу металу, що знаходиться у процесі різання; сколювання (відриву) нерозрізаної частини металу.

Максимальне зусилля P_{\max} виникає наприкінці стиснення металу в момент зсуву його по площині різання. Тому можна прийняти, що

$$P_{\max} = \tau F_{\text{рез}} \quad (24)$$

де τ - максимальна дотична напруга при зсуві металу; $F_{\text{рез}}$ - площа перерізу металу в момент початку власне різання.

Відомо, що для конструкційних сталей, які складають основну масу металобрухту, границя міцності при зсуві τ складає (0,55-0,60) $\sigma_{\text{нр}}$, тому рівняння (24) можна записати у вигляді:

$$P_{\text{max}} = k_1 \sigma_{\text{нр}} F_{\text{рез}}, \quad (25)$$

де $k_1 = 0,55-0,60$ - коефіцієнт, який дорівнює відношенню максимального опору зрізу до границі текучості.

У залежності (25) не врахований вплив напружень від сил згину. Лабораторні і натурні дослідження, проведені автором, виявили, що ці напруження незначні. У результаті апробування цієї залежності стосовно різних за конфігурацією кусків металобрухту встановлено, що вона з достатньою точністю характеризує процес різання металевого брухту. У той же час дослідження показали, що в ній треба врахувати вплив затуплення ножів і збільшення щільни між ними в процесі різання металобрухту.

З урахуванням цих факторів формула для визначення максимального зусилля, потрібного для різання одного куска брухту, прийме вигляд

$$P_{\text{max}} = k_1 k_2 k_3 \sigma_{\text{нр}} F_{\text{рез}}, \quad (26)$$

де $k_2 = 1,2-1,3$ - коефіцієнт, який враховує збільшення зусилля різання при затупленні ножів; $k_3 = 1,3-1,4$ - коефіцієнт, який враховує підвищення зусилля різання при збільшенні щільни між ножами.

На практиці, як правило, ріжуть одночасно декілька різних кусків брухту. У процесі різання в один і той же час у деяких кусків відбувається вм'яття металу, у інших - зсув (зріз), у третіх - відрив частини перерізу, що залишилася. Тому у залежність (26) замість $F_{\text{рез}}$ вводимо приведену площу перерізу металобрухту, яка дорівнює

$$F_{\text{нр}} = k_4 F_{\text{обш}}, \quad (27)$$

де k_4 - коефіцієнт, який враховує площу поперечного перерізу, що знаходиться у площині зрушення; $F_{\text{обш}}$ - загальна площа усіх кусків брухту, які знаходяться під ножом.

На підставі численних експериментів по різанню металобрухту на ножицях із верхнім рухомим ножом шевронної форми встановлено, що $k_4 = 0,35-0,70$, причому верхня границя відповідає процесу різання, коли кількість кусків брухту, що одночасно знаходяться у

процесі різання, найменша, а їх переріз мінімальний, і навпаки, нижня границя - більшої кількості кусків брухту з максимальним перерізом.

Остаточний вигляд формули для визначення максимального зусилля різання після введення у неї коефіцієнта, який враховує площу загального перерізу металобрухту, що знаходиться у площині різання:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 k_4 \sigma_{\text{сп}} F_{\text{рез}} \quad (28)$$

Випробування цієї залежності стосовно гідравлічних ножиць зусиллям 3,15; 6,3; 10,0 МН дало позитивні результати по збіжності дослідних та розрахункових даних.

6. ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК СТАНИН ПРЕСОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ЧАВУННОГО БРУХТУ

Найбільш відповідальним елементом конструкції пресів для переробки чавунного брухту є станина, на яку часто впливають асиметрично прикладені навантаження.

Для обмеження ексцентриситету прикладення технологічного навантаження від головної осі симетрії станини пресів споряджали обладнанням для виключення гідроприводу при відхиленні колон пресу від вертикалі на 10 мм на рівні архитраву. Це зважало нормальній роботі преса, оскільки він виключався при тиску робочої рідини в два - три рази меншому номінального.

З метою зменшення напружень у станині преса при асиметричному прикладенні навантаження під керівництвом автора на Дніпропетровському заводі "Вторчормет" під час реконструкції чавуноламельної установки "5600" була встановлена станина рамного типу, виготовлена на Новокраматорському машинобудівному заводі.

Для оцінки міцності станини автор виконав експериментальні дослідження напруженого стану моделі станини поляризаційно-оптичним методом. Модель станини преса виготовлялась із оптично-чутливого матеріалу на основі епоксидної смоли ЕД-6 у масштабі 1:100. Дослідження виконувались на поляризаційній установці ППУ-7.

У подальшому автор розробив методику числового розрахунку станин рамного типу пресів чавуноламельних установок методом скінченних елементів. Як розрахункова схема вибиралась перша основна задача теорії пружності для прямокутної області з великим центральним отвором і граничними умовами, заданими відповідно з вибраними схемами навантаження.

Після реконструкції установки ЧЛМ-5600 вченими ДМетІ разом із робітниками об'єднання "Вторчормет" виконано дослідження напруженого стану станин у процесі роботи і порівняння умов роботи станин рамного та колонного типів з точки зору вартості їх виготовлення, металоемкості, надійності і довговічності.

Аналіз отриманих даних показав, що напруження у стояках станини не перебільшує допустимих значень при максимально можливій величині ексцентриситету прикладення навантаження. Вартість виготовлення станини рамного типу становить 153 тис. крб., колонного типу - 273 тис. крб., а маса станин - відповідно 215 і 290 т при коефіцієнтах запасу міцності 9,15 і 4,10.

З моменту установки станини рамної конструкції на пресовій установці ЧЛМ-5600 аварій, пов'язаних з поломкою станини, не відбувалося, у той час, як на одиотипній пресовій установці ЧЛМ-5000 аварії із-за поломки колон траплялись щорічно.

Аналіз цих та інших параметрів станин дозволяє зробити висновки про доцільність використання станин рамного типу в пресах для переробки чавунного брухту.

7. МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕСІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛОБРУХТУ

При проектуванні нових пресів, особливо коли вони за своїм класом відмінні від відомих конструкцій, конструкторам ще на стадії проектування бажано отримати підтвердження достовірності проведених розрахунків і правильності призначених параметрів. Такі дані порівняно просто, з достатньою точністю, може дати фізичне моделювання.

Пакування брухту супроводжується пластичними деформаціями, тому моделюється цей процес на основі рівняння пластичної подібності, яке передбачає геометричну подібність l , подібність відносної деформації ϵ , границі текучості σ_T , дотичних напружень τ , напруженого стану p , швидкості процесу v , в'язкості матеріалу ν , коефіцієнта тертя f .

Геометрична подібність процесу пакування визначається розмірами пакетів, прес-камер і кусків брухту, тобто приймаючи за масштаб подібності n , отримуємо $l_n / l = 1/n$.

З метою одержання найбільш вірогідних результатів моделювання моделі металобрухту підбирається з тих самих марок сталі, що складають натуральний брухт. У цьому випадку критерій подібності

по текучості матеріалу, дотичних напруг, коефіцієнта тертя і вязкості буде додержуватись найкращим чином.

Швидкість моделюється по аналогії з геометричними розмірами.

Відносна деформація ϵ є безрозмірною величиною, тому моделювати її немає потреби.

Із другого твердження закону пропорційного опору Ф.Кіка випливає, що зусилля, потрібні для подальшої деформації двох геометрично подібних тіл із однакового матеріалу, відносяться як площі поперечних перерізів цих тіл, тобто

$$\frac{P_n}{P_n} = \frac{F_{шн}}{F_{шн}} = \frac{1}{n^2} \quad (29)$$

де P_n і P_n - зусилля пакетування моделі та натурального преса. При цьому тиснення штемпельів моделі P_n і натурі P_n рівні між собою.

Проте на моделі не завжди вдається здійснити такі стиснення на штемпелях, як на реальному пресі. Тому зменшення тиску штемпельів моделі можна виразити через коефіцієнт відповідності тиску:

$$\eta = \frac{P_n}{P_n} \quad (30)$$

Щільність пакетів γ_n , одержаних на моделі, перераховується у щільність γ_n натурального пакета за формулов

$$\gamma_n = \gamma_n \frac{\ln P_n + \ln \eta}{\ln P_n} \eta_d \quad (31)$$

де η_d - коефіцієнт невідповідності довжини пакетів, одержаних на пресі і моделі:

$$\eta_d = \frac{k_{дн}}{k_{дн}} \quad (32)$$

де $k_{дн}$ і $k_{дн}$ - коефіцієнт довжини пакета для натурального преса і моделі.

Моделювання процесів брикетування металевої стружки ідентичне моделюванню процесів пакетування сталюого брухту. При дослідженні процесів брикетування виникає необхідність у моделюванні зусилля брикетування.

Дослідження, проведені автором, показали, що для моделювання процесів брикетування краще всього використовувати як модель брухту стружки з металів, які мають меншу границю текучості при стисненні $\sigma_{тсж}$, наприклад, алюміній або мідь. У цьому випадку повинна зберігатися умова

$$\frac{\ln p_n}{\langle \sigma_{тсж} \rangle_n} = \frac{\ln p_n}{\langle \sigma_{тсж} \rangle_n} \quad (33)$$

де p_n і p_n – тиск прес-штемплів моделі і природи.

Фізичне моделювання процесів різання сталюого брухту на ножицях і розколювання чавунного брухту на пресових установках треба проводити на основі загальної фізичної подібності і закону пропорційних опорів, тобто переріз сталюого брухту та кусків чавуну моделюється пропорційно зусиллям різання і розколювання.

8. ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРЕСІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛОБРУХТУ

Вдосконалення конструкцій пакетувальних пресів повинно розвиватися по двох напрямках. По-перше, це вдосконалення конструкцій з метою збільшення щільності пакетів. У певних межах, як показали дослідження автора, це можливо за рахунок збільшення тиску пресування. Збільшення тиску від 20 до 30 МПа дає можливість збільшити щільність пакетів на 7-8 %. Подальше збільшення щільності пов'язане зі значними енерговитратами. Улаштування третього ступеня пресування дає змогу збільшити щільність пакетів на 5-6 %. Деяко більший ефект дає застосування двостороннього тиснення на останньому ступені пресування (6-8 %).

Другий напрямок – створення пакетувальних пресів з мінімальним споживанням електроенергії. Прикладом такої конструкції може бути пакетувальний прес ПГ-450, який був розроблений автором і успішно випробуваний у Дніпропетровському об'єднанні "Вторчормет".

Назріла необхідність у створенні пересувного заготівельного преса, на якому можна пресувати сталюий брухт у "пакети-заготовки", призначені для подальшого пресування на стаціонарних пакетувальних пресах. Установлений на автомобільному причепі або залізничній платформі прес подавався б у місця епізодичного утворення брухту з малою вагою або в райони, у яких внаслідок малого утворення такого брухту не доцільно встановлювати стаціонарний прес, а на пересувному із-за обмежених розмірів прес-камери цей брухт не піддається пресуванню.

Автором розроблена конструкція пакетувального преса із прес-камерою, достатньою для пресування сталюого брухту товщиною до 8 мм. Брухт на цьому пресі ущільнюється двома ступенями пресування, причому штемплі цих ступенів пресування мають форму клина,

що дає змогу на 42 % зменшити зусилля кожного ступеня пресування. Штемпелі обох ступенів переміщуються в прес-камері паралельно один одному, що дає змогу придати пресу мінімальні розміри по ширині. У результаті прес міцності 4-6 МН вільно розміщується на автомобільному причепі або залізничній платформі.

Вдосконалення конструкцій брикетувальних пресів повинне йти шляхом створення нових моделей, призначених для брикетування стружки з легованих сталей, насамперед тих її видів, які у звичайних умовах не пресуються. Цього можна досягнути створенням брикетувальних пресів, спеціально пристосованих для брикетування стружки у нагрітому стані або двох видів стружки одночасно, причому один вид повинен виконувати роль речовини, що зв'язує елементи іншого виду.

Вдосконалення конструкцій пресів для переробки чавунного брухту повинно йти шляхом створення установок, на яких можна повністю переробляти виливниці, включно з їх донною частиною. Один із варіантів такої конструкції розроблений групою винахідників, у тому числі й автором, а УКВ ВДПІ брухту зробив технічний проект.

Для зменшення витрат електроенергії установки для переробки чавунного брухту краще, за пропозицією автора, обладнувати двома клинами, один із яких призначається для попередньої насічки, а другий - для залишкового руйнування чавунного масиву. У цьому випадку на 20-25 % зменшується зусилля розколювання чавуну і на 10-15 % витрати електроенергії.

При проектуванні гідравлічних ножиць необхідно створювати моделі за новими прогресивними схемами з механізмом підпресування у навантаженому коробі або із змінателем у подаючому жолобі, який служить для ущільнення металобрухту перед різанням.

Невикористаним резервом вдосконалення пресів для переробки металобрухту є їх універсализація. За її допомогою можна збільшити діапазон операцій, які можна виконувати на одному пресі. У створенні універсальних пресів необхідно розвивати два напрямки: створення пресів, на яких можна працювати у двох або більше режимах, наприклад, різати або пресувати металобрухт, і створення пресів, які в одному технологічному процесі можуть поєднувати декілька операцій, наприклад, дробити, а потім пресувати металобрухт. Ці напрямки дозволять скоротити номенклатуру пресів, знизити потребу в них у народному господарстві, зменшити затрати на їх виготовлення.

ВИСНОВКИ

Основні наукові та практичні результати роботи:

1. Коефіцієнт тертя при пресуванні брухту та відходів чорних металів змінюється за біноміальним законом і залежить від виду брухту, тиску пресування і стану облицьовувальних плит прес-камери та штемпелів.

2. Уперше встановлено, що коефіцієнт бокового тиску при пресуванні металевого брухту є змінною величиною і змінюється пропорційно ступеню ущільнення брухту в процесі пресування.

3. Досліджена пружна деформація пакетів після їх виштовкування з прес-камери; встановлено, що вона залежить від виду брухту, тиску пресування і розмірів пакетів.

4. Установлено, що руйнування чавунних масивів на пресових установках відбувається в два етапи: спочатку утворюються дві макроскопічні тріщини, що якісно змінюють напружено-деформований стан масиву, у результаті чого на другому етапі відбувається поділ масиву на частини шляхом відриву.

5. Розроблено метод фізичного моделювання процесу пакетування металевого брухту при неідентичності напруженого стану та фізико-механічних властивостей металобрухту моделі й натурі.

6. Розроблено методи розрахунку зусиль гідравлічних пресів для переробки брухту й відходів чорних металів, які враховують уперше знайдені залежності, що описують характер процесів пресування та різання металевого брухту.

7. Експериментальними й теоретичними дослідженнями показано, що при роботі пресових установок для переробки чавунного брухту виникають асиметричні навантаження, які краще сприймаються пресами із станинами рамної конструкції.

8. Уперше розроблено науково обґрунтовані рекомендації для вибору й розрахунку інструменту пресів для переробки чавунного брухту.

9. Розроблено рекомендації по вдосконаленню конструкції гідравлічних пресів для переробки брухту й відходів чорних металів із метов збільшення їх продуктивності при одночасному зменшенні енергоспоживання.

10. Виконані дослідження використано при проектуванні пакетувальних пресів Б-1345, ББ-1338, ПГ-450, при реконструкції пресової установки для переробки чавунного брухту ЧЛМ-5600, а також для створення ефективного технологічного процесу різання

металобрухту на гідравлічних ножицях Н0-340 та інструменту підвищеної стійкості до пресових установок для переробки чавунного брухту. У даний час результати досліджень використовуються для проектування пересувного пакетувального преса зусиллям 4,0 МН.

Основний зміст дисертації опублікований у роботах:

1. Бобылев А.Л. Гидравлические прессы для переработки металлолома.- Киев: Техніка, 1991.- 208 с.
2. Бобылев А.Л. Расчет и конструирование гидравлических пресов для переработки металлолома.- Киев: Техніка, 1993.- 175с.
3. Морозов С.И., Бобылев А.Л. Машинист прессовых установок для переработки металлолома.- М.: Металлургия, 1988.- 150 с.
4. Бобылев А.Л., Пузырьков П.И. Пути повышения производительности пакетировочных прессов // Черметинформация, сер. І8.- 1978.- № 6.- 16 с.
5. Зазимко А.И., Бобылев А.Л. и др. Гидравлические ножницы Н0-340 для резки металлолома // Черметинформация, сер. І8.- 1975.- № 3.- 8 с.
6. Зазимко А.И., Бобылев А.Л. и др. Исследование работы прессовых установок для переработки чугунного лома // Черметинформация, сер. І8.- 1977.- № 1.- 8 с.
7. Зазимко А.И., Бобылев А.Л. и др. Пакетировочные прессы ЧПА-400, ЧПА-1000, ЧПА-1000-3 // Черметинформация, сер. І8.- 1973.- № 2.- 20 с.
8. Пузырьков П.И., Бобылев А.Л. Совершенствование конструкций пакетировочных прессов // Черметинформация, сер.І8.- 1974.- № 2.- 12 с.
9. Бобылев А.Л. Исследование гидравлических ножниц для переработки металлолома //Черная металлургия.- 1992.- № 4.- С. 38.
10. Бобылев А.Л. Исследование прочности станин прессовых установок для переработки чугунного лома // Черная металлургия.- 1993.- № 1.- С. 42-43.
11. Бобылев А.Л. Исследование стойкости инструмента гидравлических прессов // Металлургическая и горнорудная промышленность.- 1993.- № 3.- С. 51-52.
12. Бобылев А.Л. Определение плотности пакетов из стального лома // Бюллетень института "Черметинформация".- 1972.- № І8.- С. 56-57.

13. Бобылев А.Л. Расчет усилий прессов для переработки чугунного лома // Черная металлургия. - № 2. - С. 43-44.
14. Бобылев А.Л. Расчет усилий прессов для переработки лома // Черная металлургия. - 1991. - № 4. - С. 31-32.
15. Бобылев А.Л. Стойкость инструмента гидравлических прессов для переработки металлолома // Черная металлургия. - 1993. - № 2. - С. 43-44.
16. Бобылев А.Л. Упрочнение бронзовых втулок гидравлических прессов для переработки металлолома с помощью термической обработки // Черная металлургия. - 1993. - № 6. - С. 51-52.
17. Бобылев А.Л., Ермаков И.Ф., Фомичева Л.Е. Межзаводская школа по изучению опыта горячего пакетирования стальной стружки // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1974. - № 1. - С. 87-88.
18. Бобылев А.Л., Пузырьков П.И. Моделирование процессов пакетирования металлического лома // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1976. - № 2. - С. 90-92.
19. Бобылев А.Л., Романова Л.А. Определение плотности и коэффициента бокового давления при уплотнении сыпучих материалов // В сб.: Вибрационные и волновые транспортно-технологические машины. - Киев: Наукова думка. - 1991. - С. 107-110.
20. Пузырьков П.И., Бобылев А.Л. Боковой распор при пакетировании лома // Кузнечно-штамповочное производство. - 1979. - № 7. - С. 17-18.
21. Пузырьков П.И., Бобылев А.Л. Расчет силовых параметров пакетировочных прессов // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1978. - № 4. - С. 61-63.
22. Пузырьков П.И., Бобылев А.Л. Увеличение срока службы плунжеров и бронзовых втулок пакетировочных прессов // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1973. - № 5. - С. 65-66.
23. Пакетировочный пресс на передвижной платформе: А.с. № 1801785 СССР, В 30 В 15 /32/ А.Л.Бобылев (СССР). - 3 с.: рис.
24. Установа для брикетирования скрапа: А.с. № 763155 СССР, М.Кл.³ В 30 I3/00 / А.Л.Бобылев (СССР). - 3 с.: ил.
25. Установа для переработки чугунных массивов: А.с. № 1782661 СССР, В 02 С 21/00 / А.Л.Бобылев (СССР). - 3 с.: ил.
26. Устройство для переработки массивов: А.с. № 580941 СССР М.Кл.² В 22 С 21/00 / А.Л.Бобылев (СССР). - 3 с.: рис.
27. Устройство для учета выпуска продукции: А.с. № 913424 СССР, М.Кл.¹ С 07 С / 03 / А.Л.Бобылев (СССР). - 4 с.: рис.

28. Бобылев А.Л. Научно-технические основы расчета гидравлических прессов для измельчения металлолома.- Институт геотехнической механики АН Украины.- Днепропетровск, 1992.- 30 с.- Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ 15.10.92, № 1631 - Ук92.

29. Бобылев А.Л. Расчет и конструирование гидравлических прессов для переработки металлолома.- Институт геотехнической механики НАН Украины.- Днепропетровск, 1994.- 30 с.- Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ 15.12.94, № 2481 - Ук94.

30. Бобылев А.Л. Использование полиметаллических брикетов из отходов производства // Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и безкоксовой металлургии: Тезисы докладов на Всесоюзной научно-технической конференции.- ПНЦ АН УССР, Днепропетровск, 1990.- С.151-152.

31. Бобылев А.Л. Организация ремонтной службы и мероприятия по сокращению сроков и улучшению качества ремонтов // Тезисы докладов на Всесоюзной секции НТО ЧМ.- Горький, 1974.- С. 8-10.

32. Бобылев А.Л. Повышение надежности и долговечности деталей и узлов гидравлических пакетировочных прессов // Повышение надежности и долговечности металлургического оборудования: Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции.- Днепропетровск, 1972.- С. 119-120.

33. Бобылев А.Л. Пути увеличения срока службы деталей пакетировочных прессов // Повышение надежности и долговечности оборудования на предприятиях черной металлургии: Тезисы докладов II Республиканской научно-технической конференции.- Днепропетровск, 1970.- С. 180-182.

34. Бобылев А.Л., Шайдоров Ю.А. Повышение плотности брикетов из стальной стружки для переплавки в электросталеплавильных печах // Техническое перевооружение и внедрение новых ресурсосберегающих технологий в электросталеплавильном производстве: Тезисы докладов на третьей Республиканской научно-технической конференции.- Днепропетровск, ПНЦ АН Украины.- 1989.- С. 79-80.

35. Бобылев А.Л., Шайдоров Ю.А. Подготовка легковесного стального лома методом пластической деформации для выплавки электроласти // Техническое перевооружение и внедрение новых ресурсосберегающих технологий в электросталеплавильном производстве: Тезисы докладов на третьей Республиканской научно-технической конференции.- Днепропетровск, ПНЦ АН Украины.- 1989.- С. 81-82.

36. Пузырьков П.И., Бобылев А.Л. Повышение надежности работы пакетировочных прессов // В сб.: Повышение надежности и

долговечности металлургического оборудования. - Днепропетровск, 1972. - С. 37.

ANNOTATION

Bobylov A.L. Questions of theory, forces calculation and perfection of hydraulic presses constructions for scrap process.

Thesis (manuscript) for the doctor of technical sciences degree on speciality 05.16.08 - machines and units of metallurgical production, Institute of geotechnical mechanics of Ukrainian National Academy of Sciences, Dnepropetrovsk, 1997.

The basic coefficients which describe scrap compression and cutting process are determined. The methods of presses forces calculation for scrap process are elaborated. New constructions of presses are suggested and applied to production. The main results are published in 3 monographs, 28 printed papers and 5 patents.

АННОТАЦІЯ

Бобылев А.Л. Вопросы теории, расчета усилия и совершенствование конструкции гидравлических прессов для переработки металлолома.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.08 - машины и агрегаты металлургического производства, Институт геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровск, 1997.

Определены основные коэффициенты, описывающие процессы пресования и резки металлолома, разработаны методы расчета усилий прессов для переработки металлолома, предложены и внедрены в производство новые конструкции прессов. Основное содержание работы опубликовано в трех монографиях и 28 печатных работах, получено 5 авторских свидетельств.

Ключевые слова: пресс, усилия, конструкция.

ЗАТВЕРЖЕНО

Применовано на стор. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

Применовано на стор. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск В. К. Цабко

Підписано до друку 27.05.97. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 1,86. Умовн. фарб.-відб. 1,86. Тираж 40. Замовлення N 704. Замовле. ЗАТ Видавництво «Поліграфіст», 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.

133 570

133 570

AB 38.182