

Выводы

1. Сравнительный анализ условно построенной диаграммы фазового состава диффузионных покрытий в трехкомпонентной карбидной системе на основе Cr-Ti-Mo с диаграммами состояния карбидных систем Cr-Ti-C, Cr-Mo-C, Ti-Mo-C, позволил сделать вывод о несоответствии в количестве и распределении карбидных фаз на диаграммах.

2. Показано, что экстремальное повышение микротвердости и износостойкости оптимизированных Cr-Ti-Mo карбидных слоев обусловлено:

- большим содержанием (60-85%) в диффузионных слоях сложнелегированного карбида титана, обладающего наиболее высокими показателями механических свойств;
- формированием при ХТО гетерогенной структуры покрытий, состоящих из взаимно растворенных друг в друге карбидов на основе двух или трех насыщающих металлов;
- оптимальной толщиной покрытия (4-7 мкм), при которой не образуется хрупкая интерметаллидная η -фаза.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Громов, Ю.Н. Хромотитанирование порошковых твердых сплавов / Ю.Н.Громов, Н.Я. Кудрявцева, В.В. Котляров // Изв. вузов Чер. металлургия. - 1990. - №10. - С. 40-41.
2. Громов, Ю.Н. Химико-термическая обработка сталей и сплавов / Ю.Н. Громов, Н.Я. Кудрявцева, В.А. Котофеев // Хим. методы обраб. поверхностей неорган. матер.: Тез. докл. 3 Всес. семин., Москва, 23-24 мая 1991 г.-М., 1991. - С. 44.
3. Ленская, Т.Г. Диффузионное взаимодействие в системе твердый сплав с покрытием – обрабатываемый материал / Т.Г. Ленская // Исслед. тверд. сплавов / Всес. н.-и. и проект. ин-т. тугоплав. мет. и тверд. сплавов (ВНИИТС).- М., 1991.- С.151-155.
4. Хижняк, В.Г. Нанесение карбидных покрытий на безвольфрамовые твердые сплавы. / В.Г. Хижняк, В.Ю. Долгих, В.И. Король // Изв. вузов. Чер. металлургия.- 2002. - №1. - С. 75-76.
5. Хижняк, В.Г. Нанесение защитных покрытий на безвольфрамовые твердые сплавы. / В.Г. Хижняк, М.В. Карпец, В.Ю. Долгих // Порош. Металлургия (Киев). - 2003. - №9. - С.118-123.
6. Лоскутова, Т.В. Комплексное насыщение углеродистых сталей и твердых сплавов ниобием и хромом.: Автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.16.01/ Т.В. Лоскутова; Киев. политех. ин-т. - Киев, 2004 - 20 с.

7. Хижняк, В.Г. Разработка физико-химических и технологических основ нанесения на поверхность сталей и твердых сплавов двухкомпонентных покрытий на основе карбидов переходных металлов для повышения служебных характеристик изделий: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.01 / В.Г. Хижняк; Нац. акад. наук Украины. - Киев, 1998 - 24 с.
8. Многокомпонентные диффузионные покрытия. / Ляхович Л.С. [и др.] – Минск: Наука и техника, 1974. – 288 с.
9. Hocking, M.G. Metallic and Ceramic Coatings. Production, Properties and Applications / M.G. Hocking, V. Vasantasree, P.S. Sidky. – London, New York: 2000. - 518 p.
10. Структура, фазовый состав износостойких покрытий (Ti,Zr)C, полученных магнетронным способом / О.В. Гусев [и др.] // Поверхн. слой, точ. и эксплуат. Свойства деталей машин: Тез.докл. семин., Москва, 25 мая 1990. – М., 1990. – 36 с.
11. Шматов, А.А. Многокомпонентное диффузионное насыщение твердых сплавов карбидообразующими металлами / А.А. Шматов, С.В. Побережный // Порошковая металлургия.- 2007. - №36 - С. 28-39.
12. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металлведении. Раздел III / Ф.С. Новик. - М.: МиСИС, 1970. - 106 с.
13. Диаграммы состояния металлических систем, опубликованные в 1966 г. / под ред. Н. В.Агеева. – М.: ВИНТИ, 1969. – с. 169–170, 173–175, 248–249.
14. Диаграммы состояния металлических систем, опубликованные в 1966 г. / под ред. Н. В.Агеева. – М.: ВИНТИ, 1969. – с. 169–170, 173–175, 248–249.
15. Кузьма, Ю.Б. Фазовые равновесия в системе молибден-хром-углерод / Ю.Б. Кузьма, Т.Ф.Федотов // Порошковая металлургия.- 1965. - №11 - С. 62-65.
16. Еременко, В. Н. Непрерывные ряды твердых растворов карбидов со структурой типа NaCl в тройных системах Mo(W)-Me_{N,V}-C / В. Н. Еременко, Т.Я. Великанова, С.В. Шабалова // Порошковая металлургия. – 1973. – № 11 – С. 58–62.
17. Холек, Х. Двойные и тройные карбидные и нитридные системы переходных металлов. / Х. Холек – М.: Металлургия, 1988. – 319 с.

Статья поступила в редакцию 02.10.2007

УДК 621.97+539.52

Хвисевич В.М., Пивник Я., Патеюк А., Якушевич С.

ПЛАСТИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ВЕРХНИХ СЛОЕВ СПЛАВА PA2 ПРИ КОВКЕ

Введение. Технологические процессы изготовления различных валов основываются на операцияхковки. При таких операциях в верхних слоях изделий возникают значительные деформации. Теоретические основыковки касаются решения вопросов из области пластической обработки. Анализ этой проблемы часто сводится к решению краевых задач, относящихся к случаям, когда контур поперечного сечения вала является замкнутой выпуклой кривой с $n^{\circ} = 2, 3 \dots$ осями симметрии. Представление решения охватывает соответствующую

стадию процесса деформирования вала, подверженно-го симметричному давлению. При этом учитывается, что силы трения достаточно малы и на протекание процесса влияет только нормальная составляющая скорости к поверхности изделия. В такой постановке процессковки вала дает такой же эффект как его симметричное сжатие, например, тремя или четырьмя плоскими, идеально гладкими штампами. При этом учитывается также достаточно большая длина нагруженной зоны цилиндра в сравнении с его диаметром.

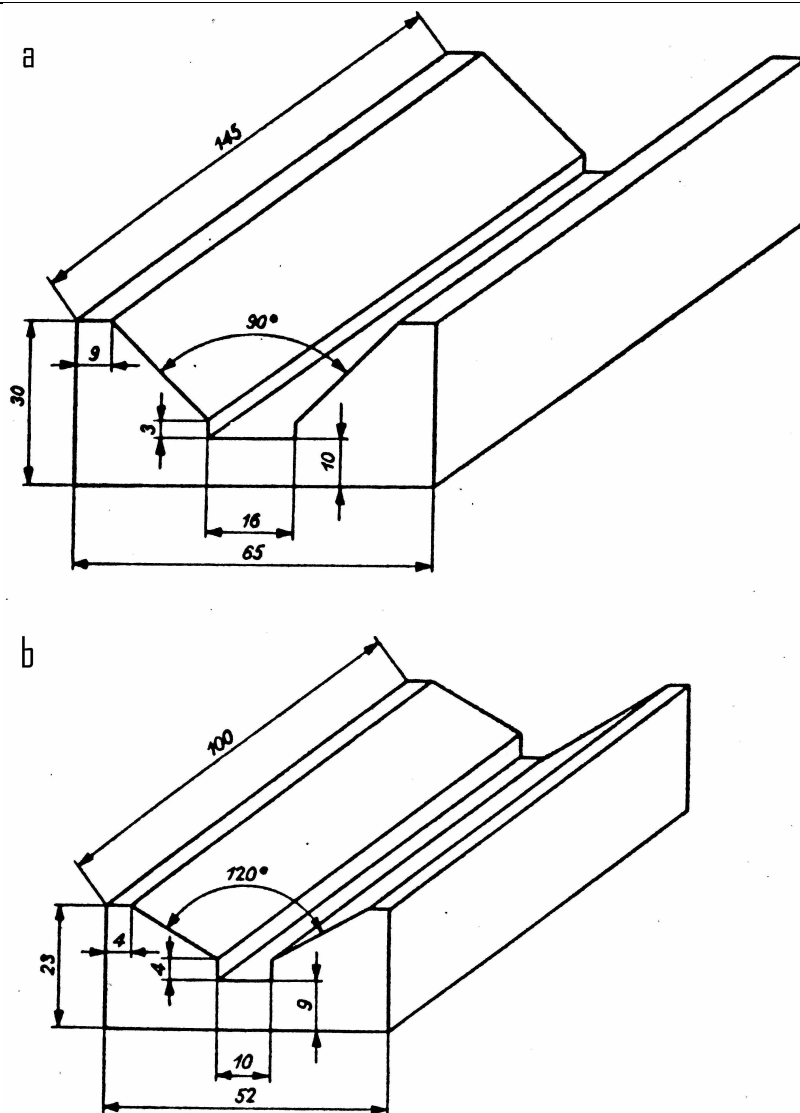
Хвисевич Виталий Михайлович, к.т.н., зав. кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Пивник Ян, д.т.н., профессор Белостокской политехники, Республика Польша.

Патеюк Алексей, к.т.н., доцент Белостокской политехники, Республика Польша.

Якушевич Сергузи, к.т.н., директор ZPDiUT, Белостокская политехника, Республика Польша.

Рис. 1. Профилированные матрицы с углом а) $\alpha = 90^\circ$, б) $\alpha = 120^\circ$

Для анализа явлений в процессековки хорошо подходит жестко-пластическая модель материала в направлениях плоского деформированного состояния. Напряженно-деформированное состояние в то же время можно характеризовать с помощью метода характеристик [1÷5].

Представленная в работе [1] методика исследования процесса пластического сжатия цилиндра (вала) плоскими штампами в случае плоской деформации позволяет характеризовать процесс с помощью линий скольжения. Кроме того, в этой работе приведены соотношения безразмерного среднего давления на поверхности штампа в зависимости от геометрических параметров при симметричном сжатии цилиндра тремя или четырьмя штампами.

Целью настоящей работы является точная экспериментальная проверка теоретических выкладок средних давлений при симметричном обжатии цилиндра тремя или четырьмя штампами. Теоретические зависимости взяты из работы [1].

Методика исследований. Для проведения исследований были разработаны и изготовлены два комплекта профилированных матриц.

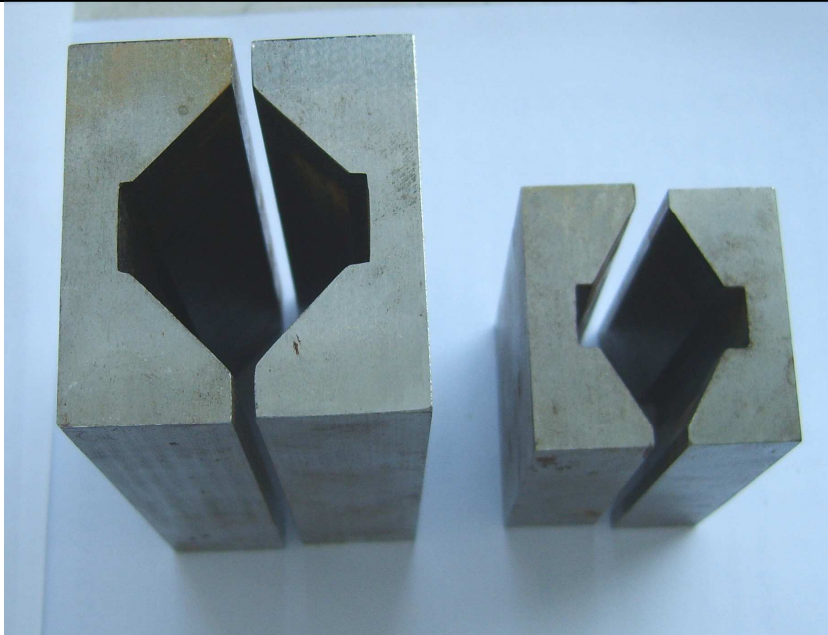
Схемы и фотографии изготовленных из стали 45 матриц изображены соответственно на рис. 1 и 2. Матрицы были подвержены термической обработке путем закалки и отпуска. После этого осуществлялась их шлифовка на заданный раз-

мер и полировка. Применение рассмотренной методики изготовления матриц вытекало из теоретической потребности пренебрежения сил трения материала с поверхностью матриц, возникающих во время деформирования. Комплекты профилированные матрицы имели углы раскрытия соответственно $2\alpha = 90^\circ$ или $2\alpha = 120^\circ$.

Для изготовления образцов использовали сплав РА2. Образцы имели форму цилиндра $\phi 45$. Половина образцов длиной 100мм подвергалась деформации в матрицах с углом раскрытия $2\alpha = 90^\circ$ (рис. 1а, Фот. 1а). Вторая половина образцов длиной 90мм в процессе эксперимента деформировалась в матрицах с углом раскрытия $2\alpha = 120^\circ$ (рис. 1б, Фот. 1б). Образцы были выполнены из прутка диаметром $\phi 50$ мм путем холодной черновой токарной обработки и последующей точной полировки их поверхности.

Процесс упругого обжатия валиков в профилированных матрицах был реализован на гидравлическом прессе, а полученные результаты исследований деформаций процессаковки сравнивались с аналитическим решением, представленным в работе Г. Петрика [1].

В качестве прогнозного критерия процесса в этой работе принят параметр $\eta = b/h$, где b определяет половину ширины поверхности контакта материала со штампом,



Фот. 1. Матрицы с углами: а) $\alpha = 90^\circ$,
б) $\alpha = 120^\circ$

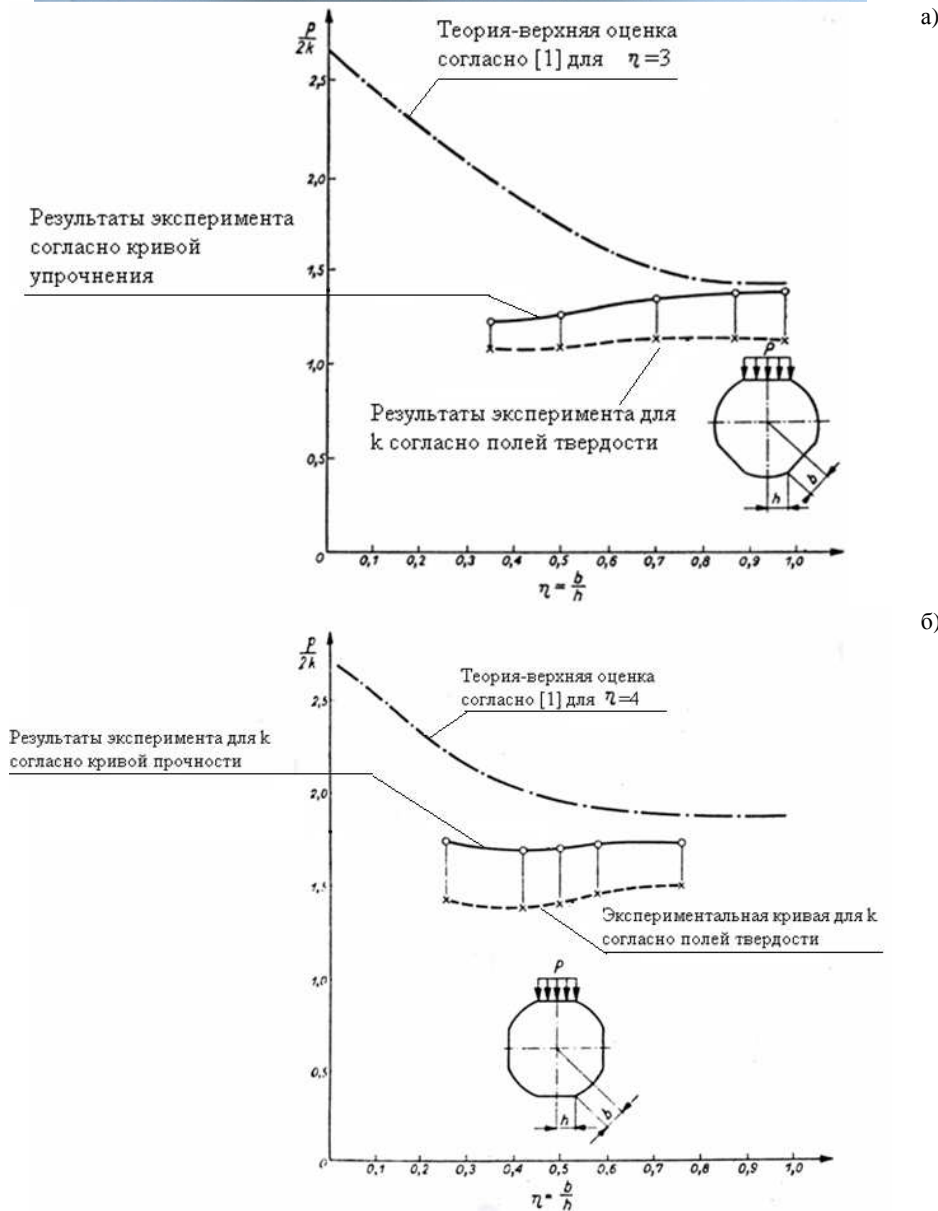


Рис. 2 Теоретическая и экспериментальная зависимости безразмерных давлений: а – тип I; б) тип – II

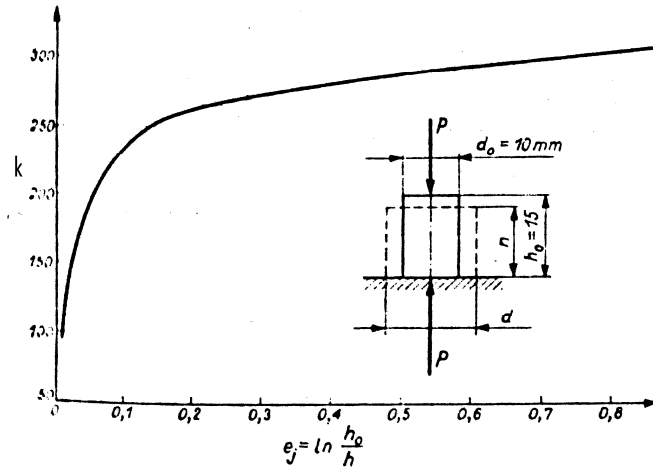


Рис. 3. График зависимости k при квазистатическом давлении

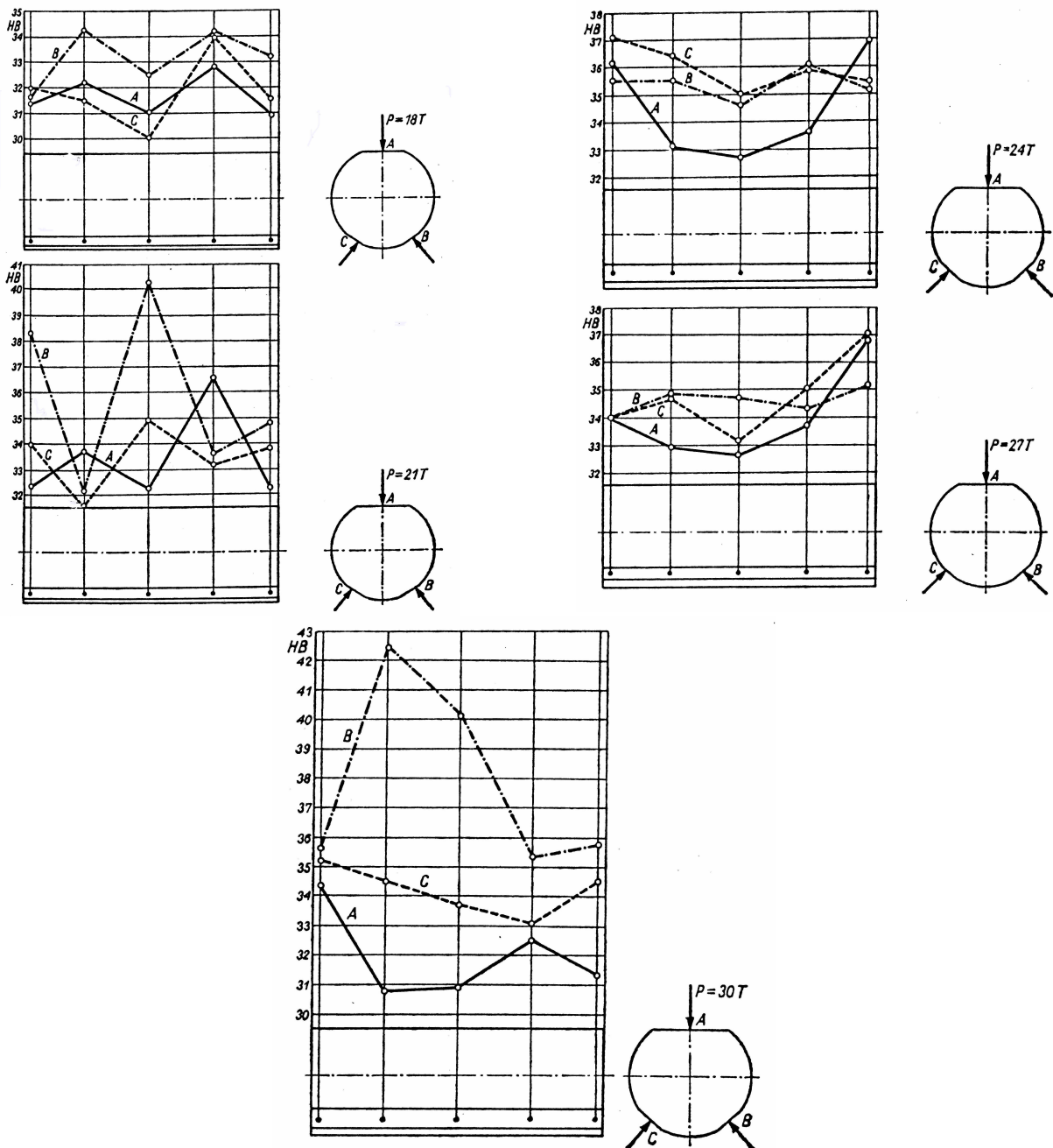


Рис. 4. Действующие силы на штамп при деформировании типа I. Графики твердости по поверхности деформирования

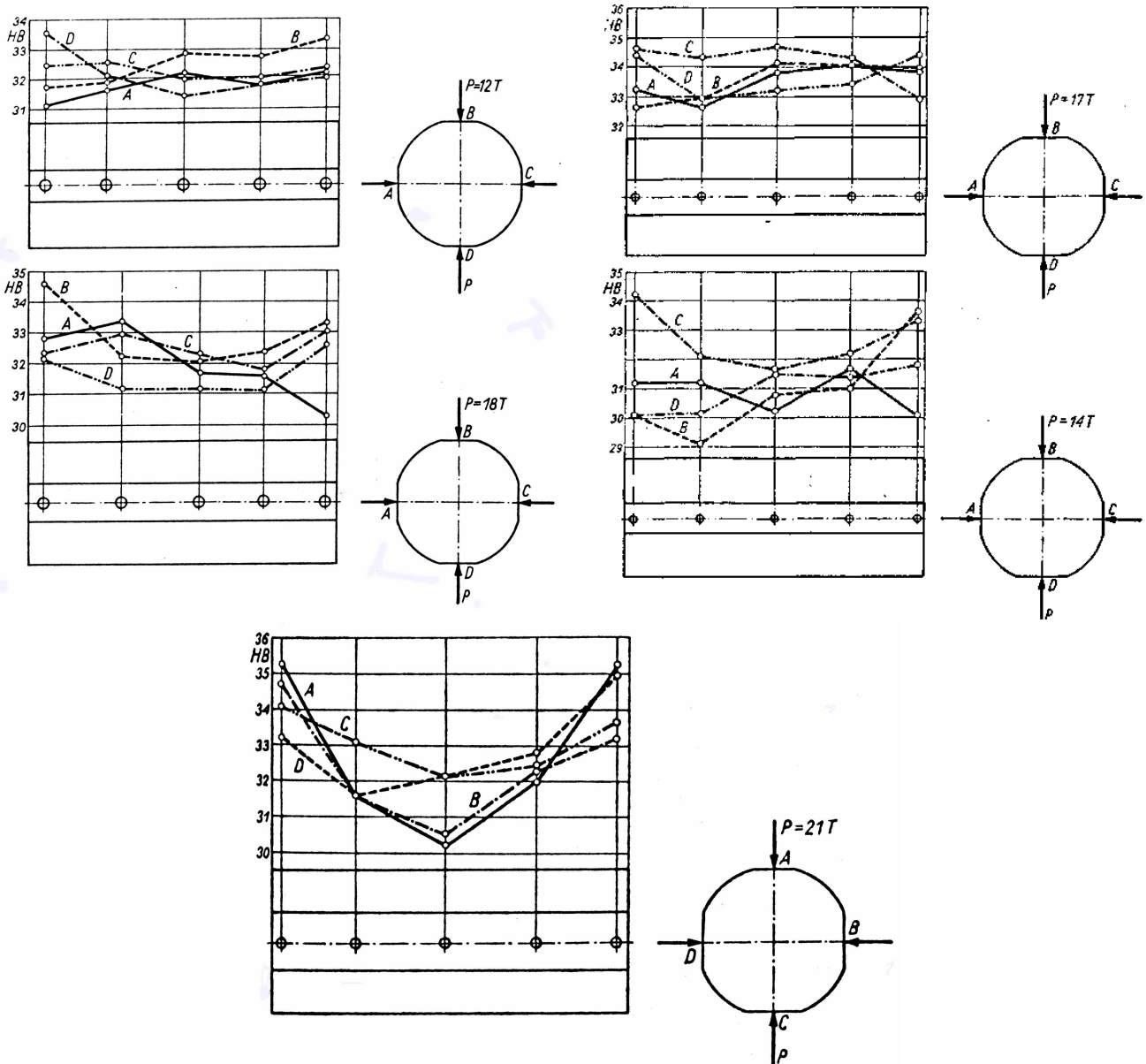


Рис. 5. Действие сил на штамп при деформировании типа II. Графики изменения твердости по поверхностиковки

а h выражает половину ширины свободной поверхности тела (рис. 2). В работе [1] проведены теоретические выражения безразмерного, среднего давления на поверхность штампа $\rho/2k$ в зависимости от параметра η при симметричном обжатии цилиндрического тела тремя или четырьмя штампами. Здесь давление ρ выражает единицу среднего давления на контактной поверхности штампа с материалом. Кроме того ρ определяется как $\rho = P/F$, где P - сила действующая на штамп (рис. 3 – 5, фот. 2); F – измеренная площадь поверхность контакта штампа с деформированным материалом.

Величина $2k$ означает удвоенное значение границы пластичности при срезе.

Исследована начальная фаза процесса при $\eta < 1$. В диапазоне $\eta < 1$ имеем только верхнюю оценку безразмерного давления $\rho/2k$. Согласно работе [1] для определения диаграммы $\rho/2k - \eta$ в пределах $\eta_1 \leq \eta \leq 1$ ($\eta_1 \cong 0,22$ для $n = 3$ штампа и $\eta_1 = 0,3$ для $n = 4$ штампа) использованы результаты работы [6], касающиеся процесса выдавливания матери-

ала с помощью гладкой клиновидной матрицы. С учетом подобия формы сеток линий скольжения для обоих процессов достаточно только выбрать соответствующие трансформации равноценных диаграмм на рис. 3 и 4 из работы [6]. Давления $\rho/2k$ на этапе локального течения, т.е. при $\eta = \eta_1$ определяется с помощью соотношения

$$\rho = 2k(1 + \alpha),$$

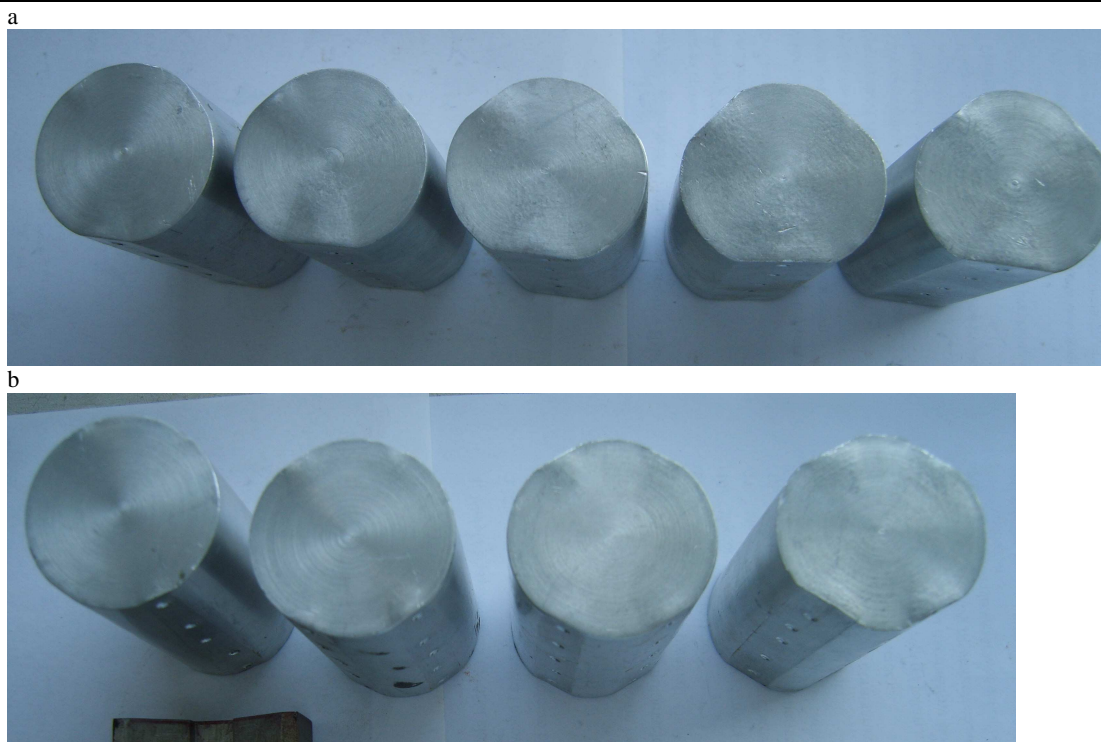
где α - зависит от геометрических параметров соответствующей конфигурации.

Исключая влияние неровностей (вспучивания) на поверхности цилиндра, можно определить угол α

$$\alpha = n/2 - 2 \arcsin b/R,$$

где R – радиус цилиндра.

Детальное обсуждение форм линий скольжения для и годографа $\eta = \eta_1$ приведено в работах Джонсона [7] и Петрика [1]. Так как решения для $0 < \eta < 1$ следует понимать как единственное кинематически допустимое, то величины давлений вычисленные для этого предела являются верхней оценкой точных значений [2].



Фот. 2. Вид деформированных образцов при углах матриц: а) $\alpha = 90^\circ$; б) $\alpha = 120^\circ$

Выводы. Анализ результатов экспериментов процесса давления вала тремя и четырьмя плоскими штампами показал, что имеется достаточно хорошее их согласование с аналитическими решениями для средних безразмерных давлений, возникающих на штампах в определенной фазе пластического течения, т.е. при $\eta > 0,6$. При значениях $\eta < 0,6$ получались достаточно большие отклонения от теории. С одной стороны, это можно объяснить большим влиянием упругих эффектов в начальной стадии обжатия, а с другой – достаточно большими упрощениями принятых при теоретических решениях. Аналитическое решение при $\eta = 0,3$ касается вопроса вдавливания плоского штампа в идеально – пластическую область, ограниченную выпуклой поверхностью в случае плоской деформации [7]. Исключить влияние вспучивания на поверхности можно с помощью кинематических допущений, при этом принимается равномерное распределение нагрузки (давления) на поверхности штампа.

Дополнительной трудностью при экспериментальных исследованиях рассматриваемой проблемы является определение характерной границы пластичности k . В данном случае сопоставление с аналитическими решениями двух экспериментальных кривых соответствует двум значениям k , взятых с кривой упрочнения и полей твердости. В каждом случае при экспериментальной проверке теоретических представлений сил в процессах сжатия, которые получаем с решений основанных на идеально пластических моделях, всегда будет сохраняться неоднозначность. Эта проблема рассмотрена также и в работе [2].

В общем случае полученные результаты экспериментальных исследований квазистатического процесса сжатия цилиндрических тел (валов) несколькими штампами могут быть использованы для теоретического представления процессов свободной и матричнойковки. Представленные модели таких задач имеют в основном познавательный характер, а их решения носят качественную оценку.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Petryk H.: Zgniatanie plastycznego walca płaskimi, gładkimi stemplami, Rozprawy Inżynierskie, 1978, t. 24, nr 3, a. 851-J-661.
2. Szczepiński W.: Wstęp do analizy procesów obróbki plastycznej, Warszawa, PWN, 1987.
3. Kaledn B. A.: Ocena deformowanego sostojanja zagotovki pri poplreinoj kovkie s pomostu, fizyceskich pollej linij skolženja. Kuzněčno-Stampovačnoje Proizv. 1989, nr 1, 3.
4. Wasiunyk P.: Teoria procesów kucia i prasowania, Warszawa W. N. 1982.
5. Sokołowski w. W.: Teoria plastyczności. Warszawa, PWN 1957. t.
6. Johnson W.; Extrusion through wedge-shaped dies. Part. I, J. Mech. Phys. Solids, 1955, nr 3, s. 213.
7. Johnson W.: Indentation and forging and the action of Nasmyth's anvil. The Engineer, 1958, nr 205, s. 348.
8. Hill R.: On the limits set by plastic yielding to the intents of singularities of stress. J. Mech. Phys. Solids. 1954, nr 2, s. 278.
9. Išlinskij A. Ju.: Oseslmetričeskaja zadaća plasticnostl i próba Brinella. Prikl. matematika i mehanika 1944, nr 3, s. 201-4-224.
10. Szczepiński w.: On the mechanism of local internal necking as a factor of the process of ductile fracture of metals. Journal de Mecanique Theorique et Applique'e. Nr Spectal, 1982.
11. Патеюк А., Пивник Я. Формирование свойств деталей машин из сплава PA2 с помощью метода выдавливания/ Труды Белорусской инженерной академии,- Мн.2(20)/1. 2005. С. 247 – 253.
12. Piwnik J.: Doświadczalna weryfikacja teorii obliczeń sił w procesie wyciskania. Rozprawy Inżynierskie, 1981, t. 29, nr 2, s. 343-S-349.

Статья поступила в редакцию 29.10.2007