

УДК 621.777.01

## ВИМІРЮВАННЯ СИЛ КОНТАКТНОГО ПЛАСТИЧНОГО ТЕРТЯ В ПРОЦЕСАХ ОБ'ЄМНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Алієва Л.І.<sup>1</sup>, Тітов А.В.<sup>2</sup>

1 - Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

2 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація:** Розроблено новий тип пристроїв – вимірювачів сил тертя, що сприяють розширенню діапазону вимірюваних параметрів, які характеризують умови деформування. Вимірювання сил контактної тертя в процесі пластичного деформування використано для оцінки антифрикційних властивостей технологічних мастил і інструментальних плівкових покриттів. Результати досліджень дозволили уточнити уявлення про рівень сил контактної тертя і значення коефіцієнтів пластичного тертя.

**Ключові слова:** сили тертя; тертя; контактне тертя; пластичне тертя; деформування; процеси об'ємного деформування

Методи непрямого визначення величини контактної пластичної тертя не завжди відображають реальну картину протікання процесу деформування, можуть мати недолік через відсутність урахування деяких параметрів, а також через складності обчислень [1-3]. Вимірювання сил тертя безпосередньо в протікаючому процесі реально відображає зміни в умовах деформування і враховує всі фактори, що впливають на величину сил контактної тертя [3, 4]. Відомий ряд законів (умов), які описують залежність напруження контактної тертя  $f$  в процесах обробки металів тиском (ОМТ). Для процесів з невеликими значеннями (до 2-х одиниць) приведенного тиску деформування  $\bar{P}$  прийнято використовувати закон Амонтона, а для процесів з приведеним тиском понад 2,0 – закон тертя Зібеля [2, 3]:

$$f = \mu_a p_n; \quad f = \mu_s \sigma_s, \quad (1)$$

де  $\mu_a$  – коефіцієнт тертя за Амонтоном;  $p_n$  – нормальний контактний тиск;  $\mu_s$  – коефіцієнт тертя за Зібелем. Поширені і більш складні експоненціальні залежності Макушка Е.М. [1] і Леванова А.Н. [2], які останнім часом широко використовуються при комп'ютерному та аналітичному моделюванні процесів ОМТ. Тому уточнення використовуваних в них емпіричних коефіцієнтів є важливим завданням для коректного теоретичного опису умов і режимів процесів об'ємного деформування. Для дослідження контактних умов деформування безпосередньо в процесі об'ємного штампування розроблені гамма пристроїв для вимірювання сил пластичного тертя (пластотрібометрів). У найпростішому випадку вони містять пуансон, матрицю з радіальною порожниною для видавлювання, оправку, а також месдозу, з'єднану з реєструвальним приладом [3-5]. Для розширення діапазону параметрів досліджуваного процесу деформування розроблені нові конструкції пристроїв, в яких метал в зоні вимірювання отримує додаткову деформацію і, відповідно, необхідне оновлення поверхні і зміцнення [6, 7]. Пристрій для дослідження умов пластичного деформування вміщує кільцевий деформувальний пуансон 1, закріплений до верхньої плити 2, і змонтований на нижній плиті 3 контейнер 4, в якому одна на одну встановлені верхня півматриця 5, з звуженою до низу прийомною порожниною 6, нижню півматрицю 8 з круговою радіальною порожниною 9. В півматриці 8 встановлено оправку 7 у вигляді стрижня з хвостовиком, під нижнім (опорним) торцем якої розміщена месдоза 13 ((рис. 1, а) [6]. Експериментальні дослідження фактора тертя проводилися при різних умовах з технологічним мастилом, без змащення і знежиренням контактних поверхонь інструменту і заготовок з алюмінієвих сплавів і сталі 10. Знаючи силу тертя на поверхні тертя  $P_k$  і площу поверхні тертя  $F_k$ , визначали напруження контактної тертя:

$$f = P_k / S_k, \quad (2)$$

Далі, знаючи середній ступінь деформації по кривій деформаційного зміцнення, встановлювали значення напруження текучості  $\sigma_s$  для даного матеріалу і визначали величину приведенного напруження тертя  $f/\sigma_s$ .

За результатами обробки експериментальних даних побудовані залежності відношення напруження контактного тертя до напруження текучості від відношення нормального напруження до напруження текучості (рис. 1, б). Шляхом підбору коефіцієнтів апроксимації для експоненційної залежності, було встановлено найкраще наближення розрахункових значень відносного напруження контактного тертя до отриманих експериментальних даних.

Спрощення експонентної моделі тертя [2] за допомогою допущення про те, що відносний нормальний тиск на контакті може бути встановлено за тиском деформування в пластичній зоні з урахуванням умови пластичності (зі зниженням на величину напруження текучості)  $\sigma_n/\sigma_{sk} = \bar{p} - 1$ , дає вираз [5]:

$$f = K_k \cdot \sigma_{sk} \cdot (1 - e^{-0,75(\bar{p}-1)}), \quad (5)$$

де  $K_k$  – коефіцієнт, що залежить від умов тертя.

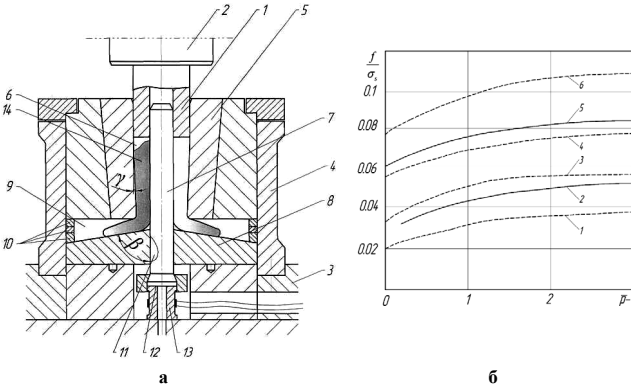


Рис. 1 – Схема пристрою для вимірювання сил тертя при комбінованому деформуванні (а) і залежність коефіцієнта тертя від приведенного тиску (б)

заготовки і вид мастила, яке використовують.

Аналіз отриманих значень коефіцієнтів  $K_k$  (табл.) дозволив встановити, що кращі показники має мастило на основі  $\text{MoS}_2$  (ВНІИП-232), а при теоретичному аналізі і при оцінці адекватності математичних моделей середній коефіцієнт тертя Зібеля доцільно приймати в межах  $\mu_s=0,04\dots0,08$  для поширених мастил, які використовуються при холодному об'ємному деформуванні. Слід зазначити значні можливості для зниження контактного тертя нанесенням на робочі поверхні інструменту плівкових покриттів на основі ТаВ. Як показали дослідження, навіть при повній відсутності мастила (поверхні знежирувались ацетоном), наявність на інструменті плівкового покриття дозволяла знизити силу тертя на 50–55% [4]. Крім того, при видавлюванні без застосування мастила інструментом з нанесеним плівковим покриттям не спостерігалось утворення ділянок схоплювання. У всіх інших випадках зниження коефіцієнта тертя також має велике значення, що дозволяє говорити про можливість застосування плівкових дифузійних покриттів для інструменту штампів холодного деформування. Результати досліджень також підтверджують

Аналіз експериментально отриманих залежностей коефіцієнта (відносного напруження) тертя  $\mu = f/\sigma_s$  від нормального тиску в матриці  $(\bar{p} - 1)$  видавлювання показує, що вони також представляють собою експоненти. (див. рис. 1, б). При цьому, найбільш значний вплив на зростання кривих надають матеріал

Таблиця				
Експериментально встановлені значення коефіцієнтів тертя				
№ на рис 2	Матеріал	Масило	Коефіцієнти $K_k$	
			Без плівкового покриття	З плівковим покриттям ТаВ
1	АМцМ	ВНИИНП-232	0,04	0,03
2	Сталь 10	ВНИИНП-232	0,053	0,04
3	АМцМ	Жир	0,058	-
4	АМцМ	ДДМА №2	0,078	-
5	Сталь 10	Тиокол	0,083	0,055
6	АМцМ	УКРИНОЛ 5/5	0,11	-
-	АДЗ1	Без змащування	0,44	0,25

літературні відомості про істотну долю сил тертя в силовому режимі процесів ХОШ [1, 3]. Внесок сил тертя в загальне значення сил видавлювання коливається в межах від 3 до 15% – при деформуванні свинцю; від 2 до 25%

– для алюмінієвого сплаву і від 16 до 35% для стали 10. При видавлюванні знежиреної заготовки частка сили тертя може доходити до 70%. Результати обробки експериментальних даних дозволили уточнити уявлення про рівень опірних сил контактного тертя і обґрунтовано приймати значення коефіцієнтів тертя  $\mu$  в комп'ютерних і розрахункових моделях процесів видавлювання. При дослідженні тертя доцільно використовувати методи безпосереднього вимірювання величини тертя з огляду на їх явні переваги і можливості реально відобразити зміну величини тертя в процесі деформування.

### Measuring the forces of contact plastic friction in volume deformation processes

Aliieva L.I., Titov A.V.

**Abstract.** A new type of device has been developed - measuring instruments for friction, contributing to the expansion of the range of measured parameters characterizing deformation conditions. Measurement of contact friction forces in the process of plastic deformation was used to evaluate the anti-friction properties of process lubricants and tool film coatings. Research results allowed to clarify the idea of the level of contact friction forces and the values of plastic friction coefficients.

**Keywords:** friction forces; friction; contact friction; plastic friction; deformation; processes of volumetric deformation

### Измерение сил контактного пластического трения в процессах объемного деформирования

Алиева Л.И., Титов А.В.

**Анотація.** Розробтан новий тип устроїв - измерителів сил трення, способствующий расширению диапазона измеряемых параметров, характеризующих условия деформирования. Измерение сил контактного трения в процессе пластического деформирования использовано для оценки антифрикционных свойств технологических смазок и инструментальных плечных покрытий. Результаты исследований позволили уточнить представление об уровне сил контактного трения и значениях коэффициентов пластического трения.

**Ключові слова:** сили трення; трення; контактне трення; пластичне трення; деформування; процеси об'ємного деформування

#### Список літератури

- Евстратов В.А., Методика исследования трения и его учета в процессах холодной объёмной штамповки // В.А. Евстратов, В.И. Кузьменко, Е.А. Кузьменко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. – №8 – С. 3–7.
- Леванов А.Н. Методика испытаний контактного трения в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – № 2. – С. 26–34.
- Алиев И.С. Методы и устройства для исследования контактного пластического трения при объемном пластическом деформировании / И.С. Алиев, К. Крюгер // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – №1. – С. 3–10.
- Алиева Л.И. Исследование контактного трения в процессе холодного выдавливания / Л.И. Алиева, А.И. Лобанов // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ, 2005. – С. 99–101.
- Алиева Л.И. Методика исследования контактного трения в процессе холодного выдавливания // Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков // Сучасні технології промислового комплексу-2016. Матеріали II МНПК 14–18 вересня 2016 року. – Херсон, 2016. – С. 121–124.
- Пат. 105542 Україна, МПК G 01 N 3/08, B 21 J 13/00. Пристрій для дослідження умов контактної тертя / Л.І. Алиева, заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201508939; заявл. 16.09.2015; опубл. 25.03.2016. – Бюл. № 6.
- Пат. 104517 Україна, МПК G 01 N 3/08, B 21 J 13/00. Пристрій для дослідження умов пластичного деформування / Л.І. Алиева, заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201506428; заявл. 30.06.2015; опубл. 10.02.2016. – Бюл. № 3.