



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

для служебного пользования экз. № 93

(09) **SU** (11) **1048613** **A**

3(50) В 21 В 37/00, В 21 С 51/00.  
С 01 L 5/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3303654/22-02

(22) 14.04.81

(72) В.Ф. Потапкин, В.А. Федоринов,  
А.В. Сатонин и Л.В. Майоров

(71) Краматорский индустриальный инс-  
титут

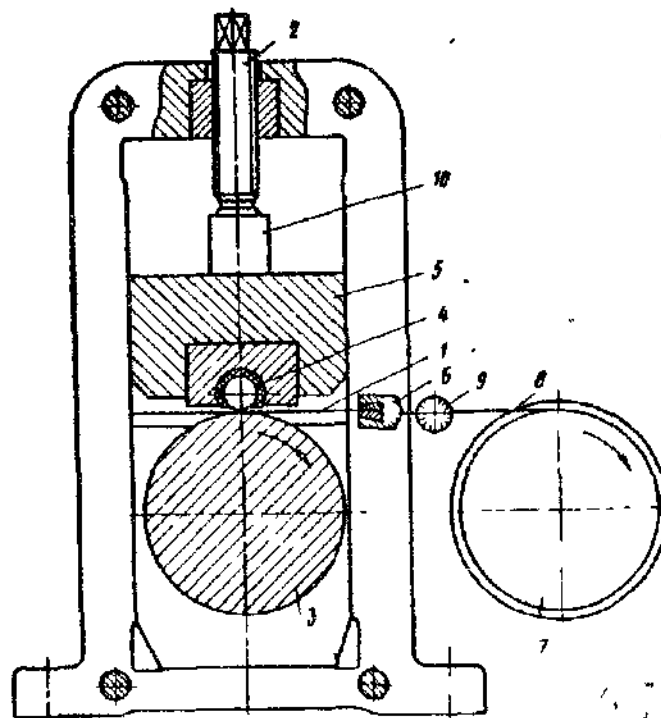
(53) 621.771.2.04.08(088,8)

(56) 1. Чертавских А.К., Белосе-  
вич В.К. Трение и технологическая  
смазка при обработке металлов дав-  
лением, М., "Металлургия", 1968,  
с.181, 167-171.

2. Авторское свидетельство СССР  
№ 692647, кл. В 21 В 37/00, 1977.

3. Авторское свидетельство СССР  
№ 491876, кл. С 01 L 19/02, 1972.

(54) (57) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ И  
КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ  
ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА, включающий про-  
пускание металла между валками и из-  
мерение усилий, о т л и ч а ю щ и й-  
с я тем, что, с целью повышения точ-  
ности и расширения диапазона иссле-  
дования, один из валков затормажива-  
ют и измеряют крутящий момент на  
приводном валке и тормозной момент  
на неподвижном валке в процессе пе-  
ремещения металла с постоянной ско-  
ростью, не превышающей для переднего  
конца окружную скорость приводного  
валка.



**SU** (11) **1048613** **A**

Изобретение относится к области обработки металлов давлением и может быть использовано для исследования параметров трения при прокатке и при волочении.

При холодной деформации металла, в частности при прокатке и при волочении, одним из наиболее важных параметров, влияющих на условие реализации процесса и его эффективность, является коэффициент, характеризующий трение на рабочей поверхности контакта инструмента с деформируемым металлом, так как именно контактное трение во многом определяет величину деформирующего усилия и возможный режим обжатий. В связи с этим точное знание параметров трения при прокатке и волочении необходимо для определения конструктивных параметров рабочего оборудования и для выбора оптимальной технологической схемы обжатий.

Известен целый ряд способов для определения коэффициента, характеризующего трение при прокатке и при волочении. Самые простые, так называемые косвенные методы определения коэффициента трения, заключаются в исследовании реального процесса прокатки или волочения при различных условиях трения. Измеряя усилие деформации или конечную толщину полосы при прокатке, а также внешнее осевое усилие при волочении, определяют коэффициент трения по соответствующим формулам, учитывающим влияние последнего на измеряемые параметры. При этом следует отметить, что косвенные методы определения параметров трения при всей их простоте приводят к большой погрешности результатов экспериментальных исследований, так как они включают в себя погрешность тех допущений, которые были приняты при выводе используемых зависимостей.

Известны также способы прямого определения коэффициентов, характеризующих контактное трение при обработке металлов давлением. Так, например, при прокатке распространен метод клещевого захвата, сущность которого заключается в том, что с помощью клещевого захвата задний конец полосы тормозится в валках, благодаря чему на контактных поверхностях рабочих валков расположена только зона отставания, что дает возможность

определять коэффициент трения, используя зависимость

$$\mu = \frac{M}{RP}$$

где  $M$  - крутящий момент, передаваемый одним из валков;

$P$  - усилие прокатки;

$R$  - радиус рабочих валков;

Известно усовершенствование метода клещевого захвата, при котором однозональное скольжение на контактных поверхностях достигается путем торможения заднего конца прокатываемой полосы при помощи моталки [1].

Этот способ позволяет несколько упростить запись фиксируемых параметров, однако при этом существует необходимость приложения заднего натяжения большей величины, что искажает реальную эпюру нормальных контактных напряжений и снижает точность результатов.

Для исследования коэффициента контактного трения при волочении наиболее распространен способ вращающейся фильеры, при котором величину коэффициента трения определяют путем сравнения усилия волочения через неподвижную и вращающуюся фильеры. Недостаток этого способа заключается в том, что во вращающейся фильере напряженное состояние существенно отличается от имеющего место в реальном процессе и не дает точного результата.

Известен способ измерения силы и коэффициента трения, включающий пропускание металла между заторможенным и приводным валками и измерение усилий и крутящего момента на приводном валке [2].

Недостаток данного способа заключается в том, что он не позволяет фиксировать начальный момент пробуковки металла по валку, что снижает точность определения коэффициента трения.

Известен наиболее близкий по технической сущности к описываемому способ измерения силы и коэффициента трения при прокатке, включающий пропускание металла между валками и измерение усилий, в котором осуществляют приложение к заднему концу полосы тормозного усилия, а задний конец перемещается относительно поверхности валков с постоянной ско-

ростью, равной окружной скорости валков, деленной на заданную величину вытяжки и пробуксовки [3].

Измеряя при этом усилие деформации и величину заднего натяжения, определяют коэффициент, характеризующий трение, по формуле

$$\mu = \frac{T_0}{2P} + \tan \frac{\alpha_0}{2}$$

где  $T$  — величина заднего натяжения;

$P$  — усилие прокатки;

$\alpha_0$  — угол захвата полосы рабочим валком.

Данный способ позволяет в еще большей степени упростить запись необходимых параметров и повысить точность измерений, однако и в этом случае силовая картина в очаге деформации значительно отличается от аналогичной, имеющей место при прокатке. Так как на контактных поверхностях обоих валков расположена только зона отставания, последние сообщают полосе максимально возможное количество активной энергии, которая, согласно закону сохранения энергии, должна быть компенсирована также большой величиной реактивной энергии заднего натяжения, вследствие чего напряжения заднего натяжения в полосе должны быть довольно значительными ( $\sigma_0$ ), что приводит к перераспределению эпюры нормальных контактных напряжений по длине очага деформации.

Все это вносит большую погрешность при определении параметров трения при прокатке данным способом. Кроме того, необходимость приложения заднего натяжения большой величины усложняет конструкцию захвата заднего конца полосы и всей установки в целом, а необходимость иметь скорость заднего конца полосы постоянной, равной окружной скорости валков, деленной на величину вытяжки и пробуксовки за проход, усложняет реализацию процесса измерения, так как при каждой степени деформации надо подбирать определенную скорость перемещения механизма торможения заднего конца полосы. Данным способом можно исследовать параметры трения только при прокатке, т.е. для случая небольшой величины относительного скольжения, тогда как при волочении, где величина относительного скольжения вы-

сока, использование данного способа невозможно.

Целью изобретения является повышение точности измерения параметров трения и расширение диапазона экспериментального исследования.

Поставленная цель достигается тем, что в известном способе измерения силы и коэффициента трения при холдной деформации, включающем пропускание металла между валками и измерение усилий, в соответствии с данным изобретением один из валков затормаживают и измеряют крутящий момент на приводном валке и тормозной момент на неподвижном валке в процессе перемещения проката с постоянной скоростью, не превышающей для переднего конца проката окружную скорость приводного валка.

На чертеже представлена схема устройства для реализации описываемого способа, продольный разрез.

При деформации полос между неподвижным и приводным рабочими валками с учетом выполнения условия, что скорость полосы на выходе из валков не больше окружной скорости приводного валка, на всем протяжении контактной поверхности последнего частицы деформируемого металла имеют скорость меньшую, чем скорость инструмента, т.е. здесь имеет место только зона отставания, в то время как на всей контактной поверхности неподвижного валка расположена зона опережения, так как на ней частицы деформируемого металла опережают поверхность инструмента. Следовательно, имея одностороннее скольжение металла на обеих контактных поверхностях и измеряя моменты на обоих валках, можно определить силу трения на контактной поверхности приводного валка, где очаг деформации аналогичен очагу деформации при прокатке (небольшая величина относительного скольжения), по формуле

$$T_{TP1} = \frac{M_1}{R_1}$$

где  $M_1$  — крутящий момент на бочке приводного валка;

$R_1$  — радиус приводного валка.

Аналогично на контактной поверхности неподвижного валка, где очаг деформации подобен волочению (большое относительное скольжение), сила трения равна

$$T_{TP2} = \frac{M_2}{R_2},$$

где  $\tilde{M}_2$  - тормозной момент на неподвижном валке;

$R_2$  - радиус неподвижного валка.

Отсюда коэффициенты, характеризующие величину контактного трения относительно усилия деформации для приводного и неподвижного валков соответственно равны

$$\mu_1 = \frac{M_1}{PR_1} \quad \text{и} \quad \mu_2 = \frac{M_2}{PR_2},$$

где  $P$  - усилие деформации металла между неподвижным и приводным валками.

При деформации металла между неподвижным и приводным валками по сравнению со способами принудительного торможения полосы вдвое сокращается количество активной энергии, сообщаемой полосе валками, а величина тормозной, реактивной энергии за счет применения неподвижного валка возрастает. Это исключает необходимость приложения заднего натяжения, более того, появляется потребность в некоторой величине переднего натяжения, которая зависит от соотношения коэффициентов трения на противоположных контактных поверхностях, и при этом она не велика.

Следовательно, отклонения формы эпюры нормальных контактных напряжений от реальной, имеющей место при прокатке и при волочении минимальны. Кроме того, эпюра нормальных контактных напряжений при деформации металла между неподвижным и приводным валками вследствие исключения поддирающего воздействия сил трения (последние на противоположных контактных поверхностях направлены в противоположные стороны и не препятствуют течению металла) незначительно отличается от эпюры распределения сопротивления деформации металла по дуге захвата.

Это дает возможность определять коэффициент, характеризующий контактное трение  $\tilde{\tau}$  относительно величины сопротивления металла деформации  $\sigma_\phi$  для закона пластического трения, предложенного Зибелем

$$\mu_{\sigma_\phi} = \frac{\tilde{\tau}}{\sigma_\phi} = \frac{M}{R \left( P + \frac{T_1 R \alpha}{2 h_1} \right)},$$

где  $\mu_{\sigma_\phi}$  - коэффициент, характеризующий величину контактных сил трения относительно сопротивления металла деформации;

$P$  - усилие деформации;

$T_1$  - величина переднего натяжения;

$M$  - момент на соответствующем валке;

$h_1$  - конечная толщина полосы;

$R$  - радиус соответствующего валка;

$\alpha$  - угол захвата на соответствующем валке.

Кроме того, отсутствие необходимости прикладывать большую величину заднего натяжения упрощает конструкцию экспериментальной установки, а достижение одноосности скольжения в очаге деформации за счет фиксирования скорости переднего, а не заднего конца полосы, делает кинематическую настройку экспериментальной установки не зависимой от режима обжатия, что значительно упрощает технологию эксперимента.

Перед проведением эксперимента проводят тарировку измерителей крутящих моментов на обоих валках и усилия деформации, для чего при выключенном стане к соответствующим измерителям прикладывают известную величину усилия или момента и показания измерителя фиксируют. Затем передний конец полосы 1 подают в клеть при выключенном приводе и межвалковом зазоре больше, чем начальная толщина полосы, при помощи нажимного механизма 2, полосу обжимают между приводным валком 3 и неподвижным валком 4, установленном в тразерсе 5 на опоре качения и фиксируемом от поворота измерителем крутящего момента. После этого передний конец полосы фиксируют в зажиме 6 механизма синхронизации скорости металла на выходе из валков и окружной скорости приводного валка, который состоит из цилиндрического барабана 7 с диаметром, равным или чуть меньшим диаметра приводного валка, и троса 8, один конец которого крепится на барабане, а к другому через динамометр 9 для измерения переднего натяжения крепится зажим. Привод механизма синхронизации симметричен приводу рабочей клетки, т.е. и приводной валок 3, и барабан враща-

ются с одной и той же угловой скоростью, вследствие чего окружная скорость барабана, скорости наматываемого на него троса и переднего конца полосы автоматически будут не больше

окружной скорости приводного вала. Включая привод клетки и механизма синхронизации, полосу прокатывают, измеряя усилие деформации при помощи мессдоз 10 и крутящие моменты на приводном и неподвижном валах, записывая показания соответствующих датчиков на осциллограф. После расшифровки осциллограмм, используя приведенные зависимости, анализируют условия трения на контактных поверхностях. При необходимости прокатка полос может вестись при различных смазках на контактных поверхностях.

Пример реализации предлагаемого способа измерения параметров трения при прокатке и при волочении.

На промышленно-лабораторном стане 55/260 x 220, переоборудованном в соответствии с описываемым способом, прокатывали полосу из медно-цинкового сплава Л-63 по ГОСТу 2208-70 толщиной 1,45 мм и шириной 60 мм. При этом приводной валок диаметром 259 мм был выполнен из стали 9Х с шероховатостью рабочей поверхности, соответствующей 1,0, а неподвижный валок диаметром 51 мм был изготовлен из вольфрамокобальтового сплава ВК-15 с шероховатостью рабочей поверхности, соответствующей 0,2. Для тарировки и фиксирования от поворота неподвижный валок, установленный на опоре качения, имел с двух сторон квадратные хвостовики, один из которых входил в неподвижный измеритель крутящего момента, а другой служил для тарировочного ключа. Усилие деформации и крутящие моменты тарировались по известным методам непосредственно в клетке при помощи гидравлического домкрата, установленного между валками, и специальных рычагов с кран-балкой. Прокатка велась со смазкой хлопковым полимеризованным маслом со стороны неподвижного вала и без смазки со стороны приводного вала.

Измеряли тормозной момент на неподвижном валке. При этом перемещали передний конец полосы относительно осей валков с постоянной скоростью

$$V_1 = 0,25 \frac{M}{c}, \text{ которая равнялась}$$

окружной скорости приводного вала. В другом случае передний конец перемещали со скоростью  $V_1 = 0,1 \frac{M}{c}$ , которая была меньше окружной скорости, равной 0,25 м/с.

Величина коэффициентов, характеризующих трение на контактных поверхностях от усилия деформации  $P$ , определяли после расшифровки осциллограмм по формулам

$$\mu_1 = \frac{M_1 - M_{xx} - 0,5 P f_n d_n}{P R_1}; \quad \mu_2 = \frac{M_2}{P R_2} + f_{on},$$

где  $\mu_1, \mu_2$  - коэффициенты, характеризующие контактное трение соответственно на приводном и неподвижном валах;

$M_{xx}$  - момент холостого хода, измеряется при включенном двигателе и отсутствии полосы в валках;

$f_n$  - коэффициент трения в подшипниках приводного вала;

$d_n$  - диаметр окружности центров тел качения подшипников приводного вала;

$f_{on} = 0,004 \dots 0,005$  - коэффициент трения в опоре качения неподвижного вала.

Данные измерений и расчетов приведены в таблице, при этом момент холостого хода составил 0,1 кНм, а коэффициенты трения в подшипниках и опоре  $f_n = f_{on} = 0,004$ .

Соответственно, данные таблицы для неподвижного вала могут характеризовать силу трения при волочении со смазкой хлопковым маслом, а данные для приводного вала - при прокатке без смазки.

Использование данного способа для исследования параметров трения при прокатке и при волочении позволит в значительной степени повысить точность результатов экспериментального исследования наряду с расширением его диапазона, упрощением конструкции установки и технологии исследования.

Это, в свою очередь, позволит уточнить предпосылки к расчету конструктивных параметров рабочего оборудова-

ния и еще в большей степени оптимизировать технологический режим обработки металлов при прокатке и пристоении.

№ про- хода	Кон. толщ. поло- сы, мм	Отно- сит. обжа- тие, %	Уси- лие деф., кН	Крутящий момент. Сила трения Коэф. трения					
				на при- вод. валке, кНм	на неп. валке, кНм	на прив. валке, кН	на неп. валке, кН	на при- вод. валке	на неп. валке
1.	1,22	15,81	103,5	1,850	0,237	12,9	1,35	0,125	0,013
2.	1,13	22,11	130,1	2,066	0,299	14,8	1,69	0,114	0,013
3.	1,09	24,71	146,3	2,256	0,298	16,2	1,76	0,111	0,012
4.	1,02	29,71	155,3	2,428	0,277	17,5	1,71	0,113	0,011
5.	0,96	33,81	184,5	2,794	0,282	20,3	1,85	0,110	0,010

Составитель И. Обухов

Редактор Л. Яковлева Техред М.Надь

Корректор Е. Сирохман

Заказ 4198/ДСП

Тираж 366

Подписное

ВНИИТИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4