

\* \* \*

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. R. Akhmedzyanov, PhD in Engineering, Associate professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. S. Zhitnikov, Applicant, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Improving the process of milling technology development by the equivalent strip method

*The article offers the technique of milling technology development by the method of the equivalent strip. Results allow calculating the number of transitions by analytical formulas of the equivalent strip method by Yu. B. Bakhtinov. These results are applicable in systems of the computer-aided design.*

**Keywords:** forging process, blank production, milling, dimension calculation method

Получено: 11.04.2013

УДК 532.137.2

*И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор;  
Г. А. Чикуров, докторант, кандидат технических наук, доцент  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова*

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

*Предложено устройство для экспериментального определения реологических характеристик неньютоновских жидкостей при переменных давлениях и температурах. Даны эскизы и описание конструкции устройства, его принципа действия. Приведены основные формулы для расчета реологических характеристик по получаемым с помощью устройства экспериментальным данным.*

**Ключевые слова:** неньютоновские жидкости, реология, реологические характеристики, вискозиметр, вязкость

Устройства для исследования вязкого течения жидкостей называют вискозиметрами. Вискозиметры по принципу действия можно разделить на несколько типов: а) ротационные вискозиметры с вращающимися цилиндрами, конусами, плоскостями; б) капиллярные вискозиметры, в которых испытуемый материал истекает через капиллярную трубку под действием переменного давления или силы гравитации; в) вискозиметры с падающим шаром. Каждый из них способен обеспечить надежные количественные реологические данные, и их можно рассматривать как взаимно дополняющие друг друга, потому что каждый имеет характерные, присущие ему преимущества.

Существует множество различных конструкций вискозиметров для измерения вязкости жидкостей при нормальном атмосферном давлении. Однако вязкость жидкости существенно зависит от ее температуры и воздействующего на нее давления, а число вискозиметров для определения вязкости при переменных температурах и давлениях невелико и их конструкции довольно сложны.

Вискозиметры, основанные на определении скорости свободно падающего шарика при высоких давлениях, использовать неудобно, поскольку вязкость жидкости значительно увеличивается, и поэтому шарик падает очень медленно [1]. Ротационные вискозиметры, позволяющие измерять вязкость при высоких давлениях жидкости, имеют сложную конструкцию и очень трудоемки при изготовлении [2]. Вискозиметры с капиллярной трубкой предпочтительнее, если данные используются в задачах

течения жидкости по трубам. Большим преимуществом капиллярных вискозиметров является относительная простота их конструкции, простота вспомогательного оборудования для контроля и измерения разности давлений и скорости течения в капиллярной трубке.

Предлагаемая конструкция капиллярного вискозиметра, общий вид которой представлен на рис. 1, позволяет определять реологические характеристики жидкости с неньютоновским поведением при высоких давлениях и различных температурах.

Для привода вискозиметра в действие может быть использована любая машина для испытаний на сжатие, которая позволяет изменять скорость движения подвижной траверсы и рабочее пространство которой позволяет разместить и закрепить вискозиметр.

Особенностью разработанного капиллярного вискозиметра является то, что капилляр выполнен в виде кольцевого зазора между цилиндрическим отверстием в корпусе 1 вискозиметра и расположенным внутри этого отверстия стержнем 2. Схема течения жидкости по такому капилляру наилучшим образом соответствует схеме течения смазки при гидродинамическом волочении и гидропрессовании.

Корпус 1 вискозиметра выполнен в виде толстостенного цилиндра с внутренним отверстием переменного диаметра из стали 45ХНМФА и закален до твердости HRC 42.

Давление и течение жидкости в вискозиметре обеспечивается плунжером 3, который прикреплен к

машине для испытаний на сжатие, обеспечивающей его перемещение вниз. Плунжер 3 выполнен из стали 45ХНМФА и закален до твердости HRC 54.

Устройство снабжено узлом контроля и поддержания заданной температуры, состоящим из датчика температуры 4, нагревательного элемента – спирали 5, навитой на корпус 1, теплоизоляционного кожуха 6. Спираль подключается к сети переменного тока.

Вискозиметр имеет систему циркуляции жидкости, состоящую из обратного клапана 7, уплотненного в корпусе 1, сливной 8 и подающей 9 трубок, концы которых опущены в бак с исследуемой жидкостью. Бак с исследуемой жидкостью подогревается до температуры вискозиметра – температуры, при которой определяются реологические характеристики исследуемой жидкости. Циркуляционная система позволяет использовать одну и ту же жидкость для всей серии экспериментов при различных температурах и давлениях.

Выходное отверстие В капилляра снабжено дросселем 10, позволяющим регулировать объемный расход и давление исследуемой жидкости.

Электронные датчики давления 11, 12 и 13 позволяют измерять давление жидкости в процессе ее истечения и отображают информацию о давлении в реальном времени. Датчик 11 измеряет давление в начале капилляра, датчик 12 показывает давление жидкости в средней части капилляра, датчик 13 фиксирует давление жидкости в конце капилляра.

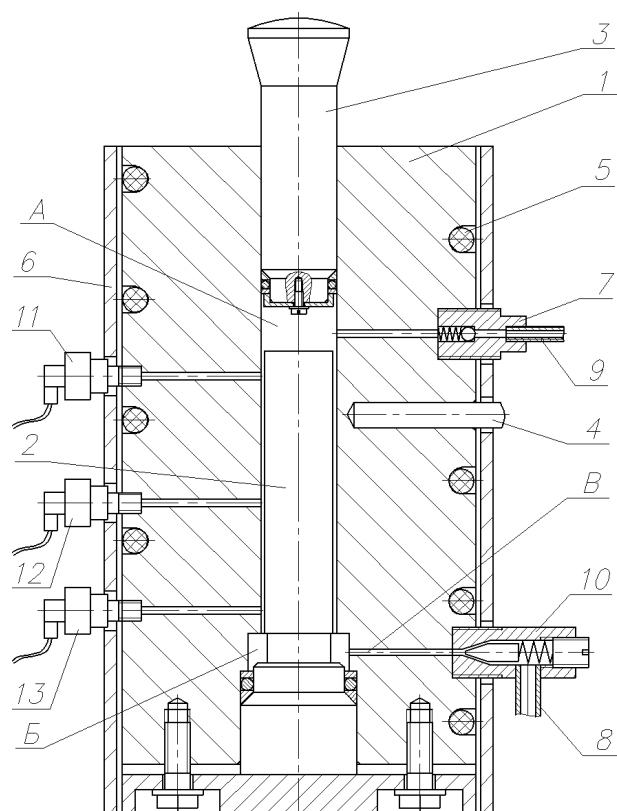


Рис. 1. Общий вид вискозиметра

Обратный клапан 7 (рис. 1) служит для заполнения рабочей полости А вискозиметра исследуемой

жидкости при обратном ходе плунжера – вверх. Конструкция обратного клапана предотвращает утечку жидкости из полости А во время рабочего хода плунжера – вниз.

Устройство обратного клапана показано на рис. 2. Корпус обратного клапана 1 вворачивается в корпус вискозиметра 2. Уплотнение из стальной шайбы 3, резинового кольца 4 и медной прокладки 5 обеспечивает надежную герметизацию. Усилие нажима пружины 6 на запорный шарик 7 регулируется винтом 8 так, чтобы при обратном ходе плунжера – вверх шарик 7 открывал канал обратного клапана и исследуемая жидкость из бака через подающую трубку 9 поступала в рабочую полость А вискозиметра.

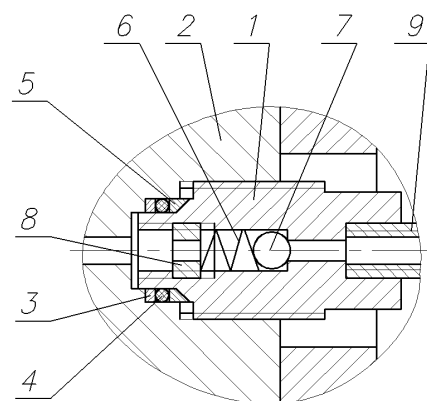


Рис. 2. Обратный клапан: 1 – корпус обратного клапана; 2 – корпус вискозиметра; 3 – стальная шайба; 4 – резиновое кольцо; 5 – медная прокладка; 6 – пружина; 7 – запорный шарик; 8 – регулировочный винт; 9 – подающая трубка

В том случае, если вязкость исследуемой жидкости велика и заполнение рабочей полости А вискозиметра через обратный клапан при обратном ходе плунжера не происходит, то исследуемую жидкость перед каждым испытанием доливают сверху, вынимая плунжер из корпуса вискозиметра.

На рис. 3 показана конструкция уплотнения подвижного плунжера 1 в отверстии корпуса вискозиметра 2. Уплотнение состоит из медной прокладки 3, резинового уплотнения 4, стальной шайбы 5, нажимной крышки 6 и винта 7. Винт 7 удерживает крышку 6 и уплотнение на плунжере при обратном ходе плунжера вверх. При рабочем ходе плунжера 1 вниз давление жидкости в полости А действует на поверхность нажимной крышки 6, в результате чего крышка чуть смещается вверх относительно плунжера и расплющивает резиновое кольцо 4 – происходит самоуплотнение, что обеспечивает надежную герметизацию. Трение резинового уплотнения о корпус вискозиметра приводит к быстрому износу, поэтому замену резинового уплотнения необходимо производить уже после 5–6 ходов плунжера.

Для самоустановки плунжер выполнен со сферической опорной поверхностью. Плунжер изготовлен ступенчатым с центрирующим пояском длиной 25 мм и зазором относительно отверстия в корпусе

0,05 мм [3]. Центрирующий поясок необходим для исключения заклинивания плунжера при работе.

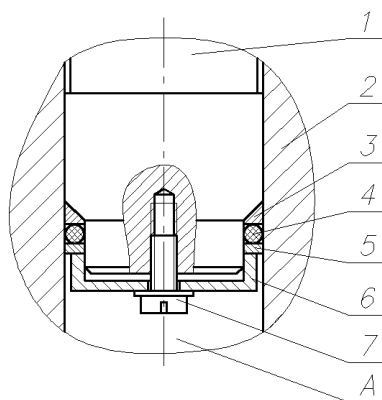


Рис. 3. Конструкция уплотнения плунжера: 1 – плунжер; 2 – вискозиметр; 3 – медная прокладка; 4 – резиновое уплотнение; 5 – стальная шайба; 6 – нажимная крышка; 7 – винт

На рис. 4 показана схема уплотнения стержня 1 в корпусе 2. Уплотнение состоит из медной прокладки 3, резинового кольца 4 и стальной шайбы 5. Надежная работа уплотнения обеспечивается равномерной затяжкой болтов, ввернутых в нижний торец корпуса вискозиметра (рис. 1).

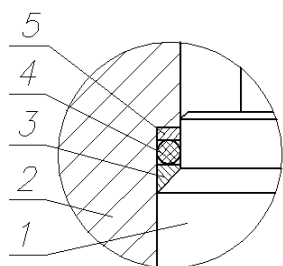


Рис. 4. Схема уплотнения стержня в корпусе вискозиметра: 1 – стержень; 2 – корпус вискозиметра; 3 – медная прокладка; 4 – резиновое уплотнение; 5 – стальная шайба

Капиллярный вискозиметр работает следующим образом. Предварительно в вискозиметр сверху через отверстие для плунжера заливают исследуемую жидкость. Концы сливной 8 и подающей 9 трубок опускают в бак с исследуемой жидкостью. Включают нагревательный элемент 5, доводят температуру вискозиметра и бака с исследуемой жидкостью до температуры, при которой необходимо измерить вязкость жидкости. Температуру контролируют датчиком температуры 4. Объемный расход смазки и давление, при котором определяются характеристики исследуемой жидкости, регулируются с помощью дросселя 10. На плунжер 3 сверху действуют с некоторым усилием, при этом плунжер начинает двигаться вниз, сжимая исследуемую жидкость и создавая в ней давление. Жидкость из верхней полости А через кольцевой капиллярный зазор между цилиндрическим корпусом 1 и расположенным внутри него стержнем 2 попадает в нижнюю полость Б, откуда сливается через дроссель 10 по сливной трубке 8 в бак с исследуемой жидкостью. С помощью электронных датчиков давления 11, 12

и 13 определяются величины давления жидкости в разных частях капилляра. При движении плунжера 3 вверх обратный клапан 7 открывается, и исследуемая жидкость заполняет верхнюю полость А. Вискозиметр готов к следующему опыту.

При проведении эксперимента фиксируются:

$p_1$  – давление в начале капилляра по показанию датчика давления 11;

$p_2$  – давление в средней части капилляра по показанию датчика давления 12;

$p_3$  – давление в конце капилляра по показанию датчика давления 13;

$H$  – величина хода плунжера вискозиметра;

$T$  – время, в течении которого осуществлялся ход плунжера величиной  $H$ .

По полученным в ходе эксперимента значениям  $p_1, p_2, p_3, H, T$  можно определить:

– объемный расход смазки  $Q$ ;

– перепад давления  $\Delta p$  на длине  $L$  – расстояние между датчиками давления.

Объемный расход смазки  $Q$  определяется следующим выражением:

$$Q = V \cdot S = \frac{H}{T} S, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость движения плунжера;  $S$  – площадь поперечного сечения отверстия под плунжер.

Перепад давления  $\Delta p$  на длине  $L$ :

$$\Delta p = p_3 - p_1. \quad (2)$$

По полученным значениям объемного расхода смазки  $Q$  и перепада давления  $\Delta p$  можно опреде-

лить скорость сдвига  $\dot{\gamma}$  и напряжение сдвига  $\tau$  исследуемой жидкости по формулам [4]:

$$\dot{\gamma} = \frac{Q}{\pi R h^2} + \frac{h \Delta P}{2L} \frac{d \left( \frac{Q}{\pi R h^2} \right)}{d \left( \frac{h \Delta P}{2L} \right)}, \quad (3)$$

$$\tau = \frac{h \Delta P}{2L}, \quad (4)$$

где  $h$  – величина зазора между корпусом 1 вискозиметра и стержнем 2.

Проведя серию экспериментов с исследуемой жидкостью при определенной температуре и давлении при различных степенях открытия дросселя 10 вискозиметра и определив значения скоростей и напряжений сдвига в этих экспериментах по формулам (3) и (4), можно построить кривую течения исследуемой неньютоновской жидкости в координатах  $\dot{\gamma} - \tau$ . На рис. 5 приведены кривые течения для различных типов неньютоновских жидкостей. По виду кривой можно определить тип исследуемой жидкости.

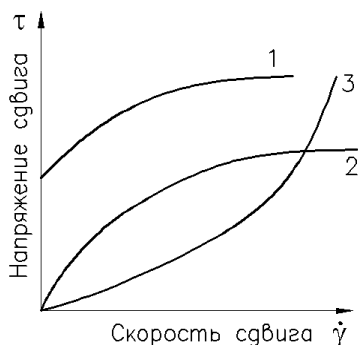


Рис. 5. Кривые течения различных типов неньютоновских жидкостей: 1 – псевдопластичная жидкость с пределом текучести (пластичная жидкость); 2 – псевдопластичная; 3 – дилатантная

Аппроксимируя таблицу значений  $\dot{\gamma}$  и  $\tau$ , полученных в серии экспериментов при одной и той же температуре и давлении, можно найти аналитическую зависимость  $\tau = f(\dot{\gamma})$  для исследуемой жидкости при заданной температуре и давлении. Получен-

ную аналитическую зависимость можно использовать для расчетов технологических процессов, в которых применяется исследуемая жидкость, например, при расчетах процессов обработки металлов давлением в режиме жидкостного трения, где необходимо знать свойства смазки при высоком давлении и температуре.

#### Библиографические ссылки

1. Золотых Е. В. Исследование зависимости вязкости жидкости от давления // Измерит. техника. – 1955. – № 3. – С. 32–37.
2. Глухов В. П. Исследование процесса обратного выдавливания с жидкостным трением : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / ИМИ. – Ижевск, 1973. – 161 с.
3. Деформация металлов жидкостью высокого давления / В. И. Уральский, В. С. Плахотин, Н. И. Шефтель и др. – М. : Metallurgia, 1976. – 424 с.
4. Покрас И. Б., Чукуров Г. А. Определение реологических характеристик неньютоновских жидкостей // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2009. – № 2. – С. 42–46.

\*\*\*

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

G. A. Chikurov, Doctor's degree applicant, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### The device for experimental determination of rheological characteristics of non-Newtonian liquids at varying pressures and temperatures

A device is proposed for experimental determination of rheological characteristics of non-Newtonian fluids at varying pressures and temperatures. Sketches and the description of the device layout and its operation principle are given. Basic formulas are presented for calculating the rheology according to experimental data obtained by means of the device.

**Keywords:** non-Newtonian liquids, rheology, rheological characteristics, viscosimeter, viscosity

Получено: 11.04.13

УДК 621.9.01

А. И. Тананин, кандидат технических наук, профессор  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### НАУЧНАЯ ШКОЛА КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Изложены результаты исследований, выполненных учеными Ижевского механического и Волгоградского политехнического институтов. Представлены основные результаты работ по физике процесса резания материалов, контактными процессам, изнашиванию и разрушению режущих инструментов, улучшению обрабатываемости сталей и сплавов, оптимизации режима обработки.

**Ключевые слова:** научная школа, контактные процессы, механика процесса, упрочнение и разупрочнение, оптимизация

К 85-летию со дня рождения основоположника  
научной школы контактных процессов  
Николая Васильевича ТАЛАНТОВА

1945–1950 гг. – учеба в Казанском авиационном институте (КАИ).

1953–1955 гг. – учеба в аспирантуре КАИ.

1956 г. – защита кандидатской диссертации.

С 1956 г. – работа в ИМИ – зав. кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» (1959–1973 гг.),

деканом МТ факультета (1960–1964 гг.), проректором по учебной работе (1964–1968 гг.), ректором института (1968–1973 гг.).

1969 г. – защита диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 1973–1993 гг. – зав. кафедрой «Технология машиностроения» ВГТУ.

Н. В. Талантов – основоположник, широко признанной в стране в 1969 г., а позднее и за рубежом, научной школы контактных процессов при механи-