

Кроме того, необходимо произвести расчеты по применяемым на участке типам подвижного состава, выявить ограничивающие вписываемость факторы, наметить пути их устранения и разработать правила эксплуатации.

С целью облегчения пользования предлагаемой методикой по определению  $R_{\min}$  все расчеты сведены в табл. I.

При проектировании нового подвижного состава следует задаться всеми его размерами и, пользуясь табл. I, определить по всем ограничивающим факторам  $R_{\min}$ . В случае выявления отдельных размеров, ухудшающих вписываемость, привести их в соответствие с остальными.

Рассмотренные выше характеристики  $R_{\min}$  подвижного состава позволяют оценить соответствие между собой геометрических размеров отдельных элементов экипажа, влияющих на вписывание. Влияние возникающих сил взаимодействия между колесами и рельсом при прохождении экипажей по кривому участку пути не учитывается.

Таким образом, геометрическая оценка показывает только те элементы подвижного состава, которые могут ограничивать вписываемость в кривые (существующий подвижной состав) и целесообразность приведения их в соответствие между собой (существующий и вновь проектируемый подвижной состав).

П. Д. МОХОВ

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛ ДЛЯ МАРОК СТАЛЕЙ 20Х, 12ХНЗА и 18ХГТ

Одним из важнейших показателей, определяющих поведение металла при пластической деформации, является коэффициент трения.

Коэффициент трения между инструментом и металлом при пластической деформации сильно отличается по величине от коэффициента трения при скольжении, причем природа коэффициента трения при деформации несколько иная, чем коэффициента трения при скольжении. Если в последнем случае скользящая поверхность не подвергается никаким физическим изменениям, то в первом случае, наоборот, в соприкосновение вступают все новые и новые группы кристаллов деформируемого металла. Таким образом, поверхностное состояние металла все время изменяется как за счет вступающих в работу кристаллов вследствие увеличения трущейся поверхности, так частично и за счет наклепа поверхностного слоя. Более точно изучить природу коэффициента трения деформации возможно путем исследования энергетического состояния трущейся поверхности в процессе ее пластического деформирования.

В обширной литературе по этому вопросу нет единого мнения о природе коэффициента трения при пластической деформации. Этим обстоятельством объясняется существование самых разнообразных способов определения коэффициента трения, которые позволяют получить приблизительные значения. Коэффициент трения пластической деформации определяется в большинстве случаев косвенными путями, а не по замеру двух усилий, хотя в работах А. К. Чартавских, И. М. Павлова и П. С. Костычева применялась и такая схема.

Из существующих методов определения коэффициента внешнего трения при пластической деформации наиболее правильным считается метод конических бойков, впервые примененный профессором С. И. Губкиным.

Преимуществом этого метода является то, что он позволяет определять коэффициент трения при различных степенях и скоростях деформации, не требуя специального оборудования. Однако метод имеет и отрицательные стороны:

- 1) степень деформации по сечению образца неодинакова;
- 2) степень деформации по оси образца больше, чем по периферии;
- 3) давление на опорных поверхностях конусных выточек при осаживании распределяется неравномерно, увеличиваясь к периферии. Метод конических бойков основан на осаживании цилиндрических образцов с внутренними конусами на торцах между конусными бойками.

Определение коэффициента трения основано на экспериментальном подборе при вершине конических бойков, деформирующего образец угла, при котором проекция силы трения на горизонтальную плоскость равна проекции равнодействующей нормального давления на ту же плоскость (рис. 1)

$$f = \operatorname{tg} \frac{180 - \alpha}{2}$$

При этом боковая поверхность образующей сохраняет цилиндрическую форму.

В случае, если  $N \sin \alpha < T \cos \alpha$ , образующая приобретает бочкообразную форму, так как сила трения на торцевой поверхности задержит течение близлежащих слоев в радиальном направлении.

При  $N \sin \alpha > T \cos \alpha$  боковая поверхность образующей получается вогнутой.

Настоящая работа посвящена определению коэффициента внешнего трения сталей 20Х, 12ХНЗА и 18ХГТ. Определение коэффициента внешнего трения производилось в диапазоне температур

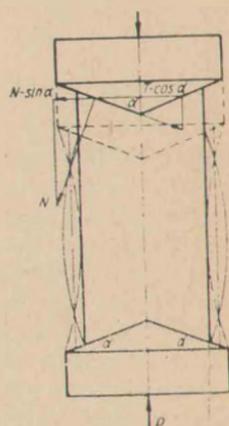


Рис. 1

от 20 до 1200°C путем испытаний статического и динамического воздействия сил.

Для изучения коэффициента внешнего трения указанных марок сталей были взяты кованые прутки диаметром 20 мм, из которых изготовлялись образцы. Прутки предварительно подвергались нормализации при температуре, соответствующей данным маркам сталей. После нормализации был произведен микроструктурный анализ, который показал, что стали имеют равноосную структуру без следов деформации.

Химический состав сталей по данным лаборатории приведен в табл. 1.

Таблица 1

| Марка стали | C    | Mn   | Cr   | Ni | Si   | S     | P     | Ti  |
|-------------|------|------|------|----|------|-------|-------|-----|
| 20X         | 0,21 | 0,52 | 0,44 | —  | 0,25 | 0,024 | 0,02  | —   |
| 18ХГТ       | 0,2  | 1,02 | 1,2  | —  | 0,27 | 0,003 | 0,003 | 0,1 |
| 12ХНЗА      | 0,12 | 0,44 | 0,76 | 3  | 0,19 | 0,03  | 0,03  | —   |

Твердость прутков по Бринеллю после нормализации составляла для стали 20X — 137 кг/см<sup>2</sup>, 18ХГТ — 156 кг/см<sup>2</sup>, 12ХНЗА — 143 кг/см<sup>2</sup>.

Из обработанных прутков изготовлялись образцы цилиндрической формы диаметром 15 мм и высотой 20 мм, надсверленные с обонх торцов на глубину 5 мм и диаметром 3 мм, для центрирования их между коническими бойками. Для проверки правильности определения коэффициента трения на цилиндрических образцах применены образцы тех же сталей с коническими выточками на торцах.

#### Определение коэффициента внешнего трения при статическом воздействии сил

Коэффициент внешнего трения пластической деформации при статическом воздействии сил определялся следующим образом. Брался набор конических бойков с углами при вершине от 90° до 179°, отличающихся друг от друга на 2°. В комплект входили два бойка (верхний и нижний), имеющие одинаковый угол. Каждому комплекту бойков соответствовал комплект образцов с такими же углами. Если после осаживания образца в среднем на 20—25% начальной высоты он сохраняет цилиндрическую форму, то тангенс угла наклона образующей цилиндра к основанию конуса будет равен коэффициенту внешнего трения при пластической деформации

$$\mu = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \left( 90 - \frac{\alpha}{2} \right),$$

где  $\mu$  — коэффициент внешнего трения;  
 $\alpha$  — угол при вершине конического бойка.

Из-за трудности изготовления образцов с коническими выточками испытания проводились на образцах с плоскими торцами, имеющими диаметр 15 мм и высоту 20 мм. Для обеспечения соосности образца с конусами бойков на его торцах высверливались отверстия диаметром 3 мм и глубиной 5 мм. Проверка полученных результатов определения коэффициента трения проводилась на образцах с коническими выточками (по 4—8 образцов на каждую температуру испытания).

Испытания на образцах с плоскими торцами и коническими выточками для стали 18ХГТ показали отсутствие заметного расхождения в значениях коэффициента трения. Поэтому испытания для других марок стали проводились только на образцах с плоскими торцами. Определение коэффициента внешнего трения при статическом воздействии сил производилось на универсальной испытательной машине «Шоппер» с максимальным усилием в 30 т при скорости деформации 7 мм/мин.

Образцы испытывались в специальном приспособлении (рис. 2). Бойки в направляющем цилиндре свободно двигались. Комплект конических бойков был изготовлен из стали 5ХНМ с твердостью HRC=25—28 единиц.

Образец при данной температуре выдерживался 15—20 мин. Перед испытанием приспособление с коническими бойками нагревалось до 250°C в специальной электрической печи. На каждую температуру и марку стали проводилось от 5 до 15 испытаний.

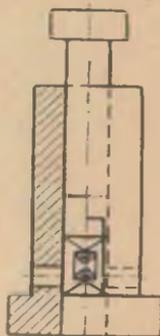


Рис. 2

### Определение коэффициента внешнего трения при динамическом воздействии сил

Коэффициент внешнего трения при динамическом воздействии сил определялся по такой же методике, что и при статическом воздействии сил.

Ударное осаживание производилось на вертикальном копре. Высота подъема бойка была принята в 3,5—4 м. Скорость испытания в начале удара составляла

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 8,84 \text{ м/сек.}$$

Подбором веса бойков достигалась осадка образца на 20—25% его начальной высоты.

Для уменьшения падения температуры при перенесении образца из печи на приспособление копра наконечники клещей были изолированы асбестовым шнуром. Время переноса (до удара) было сведено до минимума в 3—3,5 сек.

Образец для компенсации его охлаждения нагревался выше температуры испытания на 10—15°С. На каждую температуру и марку стали осаживалось от 6 до 20 образцов.

Таблица 2

Числовые значения коэффициента трения

| Температура, °С | При статической осадке |        |       | При ударной осадке |        |       |
|-----------------|------------------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|
|                 | 20X                    | 12ХНЗА | 18ХГТ | 20X                | 12ХНЗА | 18ХГТ |
| 20              | 0,069                  | 0,034  | 0,052 | 0,140              | 0,108  | 0,110 |
| 100             | 0,150                  | 0,064  | 0,105 | 0,180              | 0,150  | 0,176 |
| 200             | 0,174                  | 0,21   | 0,286 | 0,225              | 0,175  | 0,230 |
| 300             | 0,280                  | 0,336  | 0,364 | 0,249              | 0,210  | 0,249 |
| 400             | 0,466                  | 0,48   | 0,400 | 0,424              | 0,300  | 0,287 |
| 500             | 0,580                  | 0,62   | 0,480 | 0,577              | 0,495  | 0,520 |
| 600             | 0,60                   | 0,63   | 0,540 | 0,600              | 0,531  | 0,531 |
| 700             | 0,753                  | 0,72   | 0,610 | 0,649              | 0,560  | 0,554 |
| 800             | 0,869                  | 0,869  | 0,869 | 0,674              | 0,578  | 0,577 |
| 900             | 0,932                  | 0,94   | 0,920 | 0,700              | 0,570  | 0,600 |
| 1000            | 0,9                    | 0,939  | 0,940 | 0,680              | 0,624  | 0,624 |
| 1100            | 0,869                  | 0,92   | 0,869 | 0,670              | 0,600  | 0,612 |
| 1200            | 0,839                  | 0,869  | 0,80  | 0,630              | 0,577  | 0,600 |

На основе данных табл. 2 были построены диаграммы зависимости коэффициента внешнего трения от температуры при статическом и динамическом воздействии сил (рис. 3, 4). Деформация образцов показана на рис. 1.

На рис. 3, 4 изображены температурные кривые коэффициента внешнего трения при пластической деформации в условиях статического и динамического воздействия сил для исследуемых марок легированной стали.

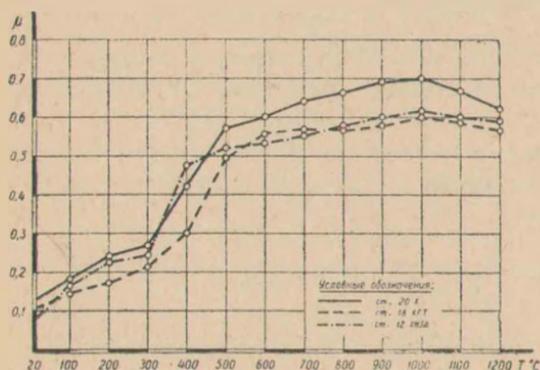


Рис. 3

1. Коэффициенты внешнего трения для исследуемых марок стали при одинаковых температурах мало или почти не отличаются один от другого.

2. Увеличение скорости деформации понижает величину коэффициента трения.

3. Коэффициент внешнего трения для исследуемых марок легированной стали с повышением температуры увеличивается, а начиная с температуры  $1000^{\circ}\text{C}$  и выше резко падает. Падение коэффициента трения, по всей вероятности, объясняется состоянием окислов и их толщиной. Весьма возможно, что окалина в первых и промежуточных стадиях своего образования повышает трение. В дальнейшем она начинает приобретать свойства смазки, что приводит к понижению коэффициента внешнего трения.

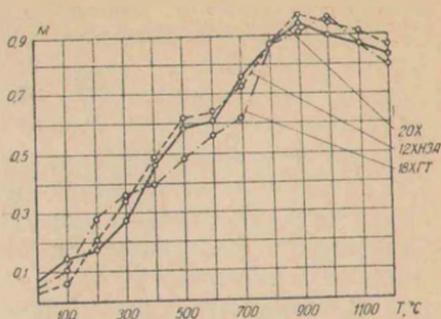


Рис. 4

### Л и т е р а т у р а

1. С. И. Губкин. Теория обработки металлов давлением. М., Metallurgizdat, 1947.
2. Н. А. Шапошников. Механические испытания металлов. М., Машгиз, 1954.
3. М. А. Зайков. Влияние скоростей деформации на прочность сталей при высоких температурах. «Журнал технической физики», АН СССР, 1948, № 6.
4. С. И. Губкин. Деформируемость цветных сплавов. М., Metallurgizdat, 1947.
5. П. Д. Мохов. Диссертация. Исследование деформируемости легированной стали, применяемой в автотракторном производстве. Минск, 1954.

Л. А. РОТТ, Н. А. СТОДОЛЬНИК

### ИНТЕГРИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Хорошо разработанная теория молекулярной диффузии основывается на известном законе Фика, предполагающем, что при разности концентрации в жидкости возникает движение вещества. Этот процесс описывается линейным уравнением в частных производных второго порядка с постоянными коэффициентами, аналогичным уравнению теплопроводности, детально изученному в математической физике. Уравнение теплопроводности основывается на законе Фурье, считающем движущей силой теплопроводности градиент температуры. Поэтому и утвердилось убеждение в наличии универсальной аналогии между явлениями теплопередачи и диффузии. Действительно, никакие экспериментальные факты не противоречили тому, что распределение температуры в неподвижной среде удовлетворяет такому же дифференциальному уравне-