18. ВИДЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПОТЕРЬ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО НАПОРА

Коэффициент расхода литниковой системы определяется потерями напора. Данный коэффициент связан с суммой потерь напора следующим выражением:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1+\sum \xi_i}}. \qquad (6.15)$$

В литниковых системах встречаются следующие виды местных сопротивлений и соответствующих потерь напора.

1. Повороты каналов $\xi_{пов}$. Повороты производятся, как правило, под углом 90°(табл. 6.6).

Таблица 6.6

Величина потерь напора для различных углов поворота

Угол поворота, °	30	60	90	120
$\xi_{пов}$	0,20	0,55	1,10	1,40

При повороте потока без скругления возникают две вихревые области: одна в выходящем углу, другая – сразу же за входящим углом (рис. 6.14). Эти области как бы сокращают сечение канала и уменьшают расход жидкого металла по сравнению с истечением при полном сечении.

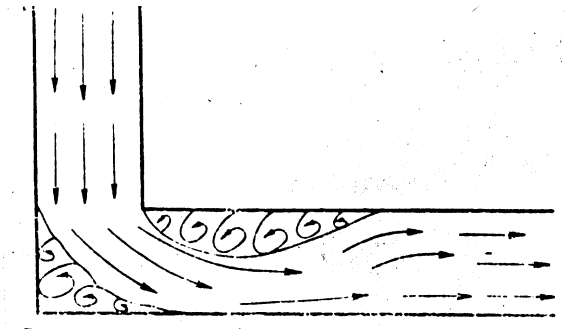

Рис. 6.14. Схема течения потока в канале при повороте на 90°

2. Резкие изменения сечения каналов $\xi_{сеч}$. Потери напора при внезапном изменении сечения канала пропорциональны отношению их площадей (табл. 6.7).

Таблица 6.7

Изменение сечения каналов $\xi_{сеч}$ от соотношения площадей сечений элементов

Соотношение площадей сечений элементов	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\xi_{сеч}$	0,42	0,34	0,25	0,15	0

В литниковых системах изменение сечений при переходе от одного элемента к другому обычно составляет около 0,8, чему соответствует $\xi_{сеч}$=0,15.

3. Вход из широкой полости в узкий канал $\xi_к$. Этот вид сопротивления в литниковой системе проявляется при переходе от литниковой чаши или воронки к стояку. Если кромки перехода не имеют скругления, то $\xi_к$ = 0,5. При плавном переходе сопротивление уменьшается. В расчетах целесообразнее ориентироваться на максимальные потери и брать значение, соответствующее входу без скругления ($\xi_к$ = 0,5).

4. Сопротивление в виде сетки $\xi_с$. Для замедления течения иногда применяют сетки, представляющие собой стержни в виде диафрагм с небольшими отверстиями. По аналогии с соответствующими устройствами в гидравлических системах можно принимать $\xi_с \approx 5{,}0$.

5. Потери на трение о стенки канала $\xi_{тр}$. Эти потери определяются по формуле

$$\xi_{тр} = \lambda \frac{L}{D}, \qquad (6.16)$$

где L – длина канала; D – диаметр канала; λ – коэффициент потерь на трение.

Данный коэффициент зависит от режима течения, определяемого критерием Рейнольдса и шероховатостью поверхности стенок. Шероховатость оценивается соотношением средней величины выступа на поверхности канала Δ к его радиусу R (Δ/R). При заливке металла в песчаную форму выступы на поверхности стенки представляют собой зерна формовочной смеси.

На основании закона гидравлики – изучения движения жидкостей по трубам с нормированной шероховатостью – можно построить график, связывающий все эти величины (рис. 6.15). Левая часть графика соответствует ламинарному режиму. В ней действует определенная зависимость:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}; \ \xi_{тр} = \frac{4}{\mathrm{Re}} \frac{L}{D}. \qquad (6.17)$$

В этой области шероховатость стенок не оказывает влияние на течение.

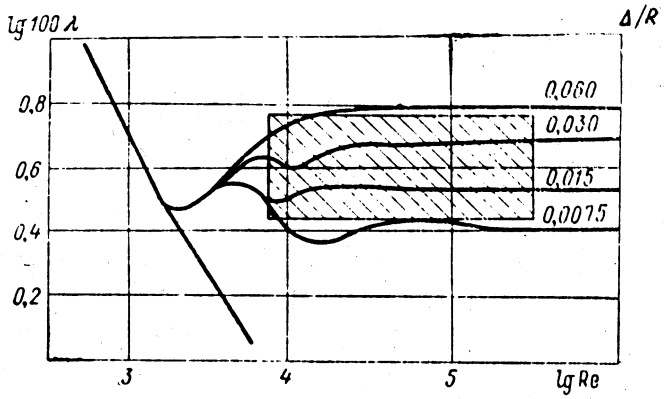

Рис. 6.15. Зависимость потерь на трение λ от критерия Рейнольдса Re и шероховатости стенок канала Δ/R

Величинам критерия Рейнольдса и шероховатостям, которые наблюдаются в подавляющем большинстве случаев заполнения литейных форм, соответствует заштрихованная часть рисунка. В этой области коэффициент сопротивления на трение не зависит от критерия Рейнольдса, т. е. от вязкости и природы жидкого металла. В среднем можно считать, что коэффициент потерь на трение постоянен и равен $\lambda = 0{,}04$.

Следовательно, потери на трение при заполнении формы расплавом можно оценить по формуле

$$\xi_{\text{тр}} = 0{,}04\frac{L}{D}. \qquad (6.18)$$

Для турбулентного режима заполнения можно принять следующую приближенную формулу для технологических расчетов коэффициента расхода литниковой системы:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1{,}5 + 1{,}1n + 0{,}15m + 0{,}04\sum\frac{L}{D}}}, \qquad (6.19)$$

где первый член суммы под корнем получается при сложении единицы с потерями на переходе из литниковой чаши в стояк ($\xi_{\text{к}} = 0{,}5$); второй – произведение коэффициента потерь при повороте на 90°на число таких поворотов n; третий – произведение коэффициента при изменении сечений $\xi_{\text{сеч}} = 1{,}15$ на число таких изменений m; четвертый – произведение среднего значения коэффициента потерь на трение $\lambda = 0{,}04$ на сумму отношений длин к диаметрам для всех элементов литниковой системы.

Значения коэффициента μ выбирают из табл. 6.8 и 6.9.

Таблица 6.8

Значение коэффициента μ для чугунных и стальных отливок

Сплав, заливка	Сопротивление формы		
	большое	среднее	малое
Чугун			
всырую	0,35	0,42	0,30
всухую	0,41	0,48	0,70
Сталь			
всырую	0,25	0,32	0,42
всухую	0,30	0,38	0,50

Таблица 6.9

Значение коэффициента μ для отливок из цветных сплавов

Сплавы, расчетное сечение узкого места	Заливка	Значение
Алюминиевые		
стояка вверху	В подогретые кокили	0,75±0,1
стояка внизу	В подогретые кокили	0,64±0,1
питателей	В песчаные формы и	0,55±0,1

	подогретые кокили	
Магниевые		
стояка вверху	–	0,8±0,1
стояка внизу	–	0,7±0,1
шлакоуловителя	–	0,6±0,1
питателей	–	0,55±0,1
Медные		
стояка вверху	–	0,4±0,1
стояка внизу	–	0,35±0,1
питателей	–	0,3±0,1

ЛАМИНАРНОЕ И ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Расплавы представляют собой жидкости, которые подчиняются общим физическим законам гидравлики. Расплав, находящийся в форме, оказывает на ее стенки давление, Па:

$$P = H \cdot \rho \cdot g, \qquad (6.20)$$

где ρ – плотность расплава, кг/м^3; H – высота уровня металла над точкой измерения давления, м; g – ускорение силы тяжести, м/с^2.

Наибольшее давление расплава наблюдается в месте, где высота максимальная (H_{max}), т. е. на дне формы.

При истечении из ковша жидкий металл образует в воздухе свободную траекторию струи.

Скорость истечения жидкого металла V через небольшое круглое отверстие в дне сосуда описывается уравнением Торричелли

$$V = \varphi\sqrt{2gh}, \qquad (6.21)$$

где φ – коэффициент скорости; g – ускорение силы тяжести; h – гидростатический напор.

Коэффициент скорости φ учитывает потери напора на трение о края отверстия. Независимо от природы жидкости он имеет величину 0,97.

Скорость подходящих со всех направлений частиц жидкости к отверстию одинакова (рис. 6.16, *а*). Поскольку потоки жидкости встречаются на оси, траектории их движения искривляются и сечение струи по выходе из отверстия сжимается. На некотором расстоянии от отверстия траектории выпрямляются и струя приобретает практически цилиндрическую форму.

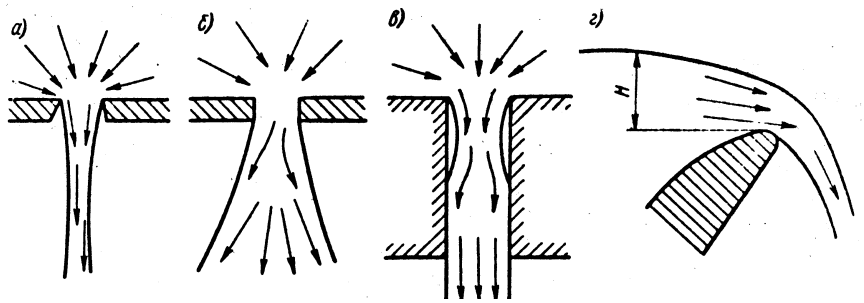

Рис. 6.16. Схемы свободных струй: *а* – спокойное истечение из отверстия в дне; *б* – возмущенное истечение в виде факела; *в* – истечение через стаканчик; *г* – истечение через носик

Расход металла при истечении, т. е. объем Q, вытекающий из отверстия расплава в единицу времени, получается умножением скорости струи на фактическую площадь ее сечения:

$$Q = f\mu\sqrt{2gh}, \qquad (6.22)$$

где f – площадь отверстия стаканчика ковша; μ – коэффициент расхода, равный произведению коэффициента скорости φ на коэффициент сжатия сечения струи α:

$$\mu = \varphi \cdot \alpha = 0{,}60–0{,}65 \text{ (для всех жидкостей и расплавленных металлов).} \qquad (6.23)$$

При затрудненном подходе и искажениях профиля отверстия струя может разрушаться сразу же по выходе из него, превращаясь в факел, состоящий из отдельных потоков и капель (рис. 6.16, *б*).

При истечении через стаканчик большей длины, по сравнению с диаметром в начальном участке, струя отрывается от его стенок и образует вихревую зону. Скругление места входа в стаканчик уменьшает вихреобразование. На некотором расстоянии от вихревой зоны струя расширяется и течет потоком, заполняющим все сечение стаканчика (рис. 6.16, *в*).

При истечении через носик (рис. 6.16, *г*) роль гидростатического напора H играет расстояние от нижней точки носика до поверхности зеркала жидкого металла в ковше. Расход металла из поворотного ковша зависит от углубления канала в носике, скорости поворота и площади поверхности (зеркала) металла в ковше.

Струя металла, срывающаяся с носика, описывает в воздухе параболическую траекторию

$$x = V\sqrt{\frac{2y}{g}}, \qquad (6.24)$$

где x и y – соответственно координаты точки по горизонтальному и вертикальному направлениям, отсчитываемые от места срыва струи; V – горизонтальная скорость струи в месте срыва.

На струю металла, движущуюся по каналу в форме, его стенки оказывают тормозящее влияние. По структуре потоки делятся на ламинарные и турбулентные.

В ламинарном потоке струи имеют характер правильных траекторий, а распределение скоростей описывается параболой (рис. 6.17, *а*).

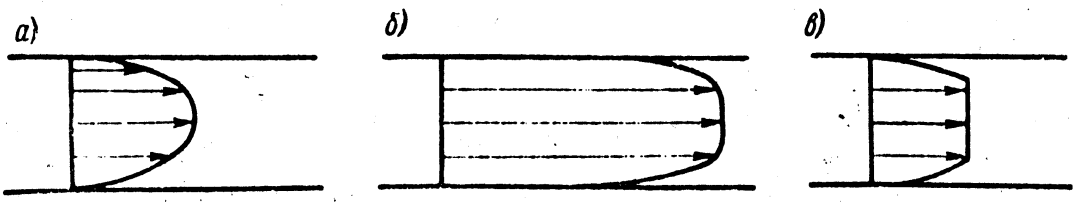

Рис. 6.17. Схемы распределения скоростей при различных режимах течения жидкости по каналу: *а* – ламинарном ; *б* – турбулентном; *в* – структурном

В потоке, текущем через цилиндрический канал радиусом R, скорость потока *V* определяется так:

$$V = \frac{p}{4\nu L} R^2 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right], \qquad (6.25)$$

где p – сила, действующая на поток; L – длина потока; ν – кинематическая вязкость жидкости; r – текущая координата.

Расход жидкости в цилиндрическом канале

$$Q = \frac{\pi R^4 P}{8\nu L}, \qquad (6.26)$$

а в плоском канале, имеющем толщину $2R$, расход

$$Q = \frac{2PR^3}{3\nu L}. \qquad (6.27)$$

В условиях турбулентного режима движение жидкости происходит в форме непрерывно возникающих и разрушающихся вихрей. Характер распределения скоростей по сечению турбулентного потока описывается параболой шестой или седьмой степени (рис. 6.17, *б*). В узком слое около стенки поток жидкости движется по ламинарному режиму. Понятие скорости в турбулентном потоке имеет статистический характер.

В каналах с гладкими стенками на достаточно длинных прямых участках Re = 2300. Выше этой величины существует турбулентный поток. При наличии в потоке источников возмущений в виде поворотов или шероховатостей стенок канала турбулентность наступает при меньших значениях Re. Если его величина меньше 1000, то, как правило, поток будет ламинарным даже при больших возмущениях.

При течении жидкостей, в частности металлических расплавов, содержащих ощутимое количество кристаллов, возникает своеобразный структурный режим течения (рис. 6.17, *в*). Средняя часть потока – ядро –

движется как единое целое. Окружающий его кольцевой слой может двигаться по ламинарному режиму.

При истечении металла из литника в уже частично заполненную полость формы большого объема возникает затопленная турбулентная струя в виде факела (рис. 6.18, *а*).

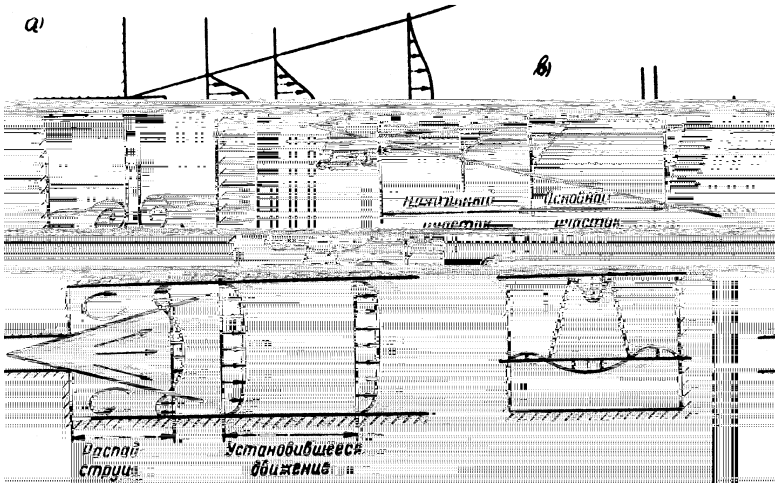

Рис. 6.18. Схемы затопленных турбулентных струй: *а* – в неограниченном пространстве; *б* – в ограниченном полостью затопленном пространстве; *в* – при падении сверху в ограниченном пространстве

Такая струя имеет начальный участок, в котором сохраняется скорость, соответствующая начальной при вытекании, и основной участок, в котором даже по оси скорость меньше, чем в начале. Длина начального участка независимо от природы жидкости равна примерно 4,5 диаметра канала, через который струя вытекает. Угол факела – 28^{o} (Б. Б. Гуляев).

Если заполняемый объем невелик (рис. 6.18, *б*), граница приближается к стенке и при взаимодействии с ней образует возвратное течение. Участок, на котором струя сохраняет ясные границы, является основным. Затем следует участок распада струи и беспорядочного движения с постепенным ее переходом в установившийся турбулентный поток, занимающий все сечение канала.

При падении струи сверху в ограниченное пространство – на жидкую подушку (рис. 6.18, *в*) – в сосуде небольших размеров картина усложняется еще больше. Вокруг места ее падения возникает вихревое кольцо, дающее начало факелу.