

РАСЧЕТ ОТЛИВОК С ТРУБЧАТОЙ АРМАТУРОЙ

Инженер Александр ЗУЕВ

Все возрастающее использование в машиностроении армированных отливок вызывает необходимость разработки методики расчета их прочностных характеристик, а также параметров технологического процесса изготовления.

Заданные свойства комбинированных конструкций из разнородных материалов определяются характером контактной зоны. От этого зависит прочность, герметичность, тепло- и электропроводность и другие показатели.

Метод армированного литья металл-металл, металл-полимер позволяет получать облегченные, высокой точности, конструкции, сочетающие в себе элементы высокой износостойкости (блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания), антифрикционности (редуктора), трубопроводов и другие).

Прочность и герметичность соединения арматуры с телом отливки, обеспечиваются за счет сил, возникающих при усадке сплава а полости формы. Максимальный эффект при этом достигается путем образования в контактной зоне диффузионного слоя, например, за счет предварительной обработки стальной арматуры цветным металлом. Однако этот промежуточный процесс ведет к удорожанию производства.

Усилие обжатия будет наибольшим, если форму заполнить перегретым расплавом, обеспечив в ней достаточное избыточное давление. При таких условиях металл проникает во все неровности на поверхности арматуры создавая предпосылки плотного контакта, а усадка сплава обеспечит наибольшее усилие обжатия. Это возможно при определенной достаточно высокой скорости впуска металла в форму, которая, в свою очередь, зависит от усилия прессования, т.е. мощности прессующего механизма машины для литья под давлением. Зависимости между удельной прочностью сцепления жесткой арматуры с отливкой от удельного давления, скорости прессования и температуры заливаемого сплава описаны в работе [1].

Однако использование тонкостенной трубчатой арматуры имеет свои особенности. Это показала практика внедрения в производство сливного трубопровода от форсунок дизельного мотора трактора МТЗ «Беларусь» на минском моторном заводе (рис. 1) [2].

Как правило, расчет трубопроводов сводится к определению толщины его стенки от внутреннего давления рабочего тела.

Исходя из требования экономичности, закономерно использование самых тонкостенных, дешевых трубок. Но при литье их под давлением их прочность может оказаться недостаточной для сопротивления внешнему давлению расплава, что приводит к сплющиванию трубки (рис. 2).

С целью уяснения характера действия факторов, участвующих в процессе, и причин деформации трубок надо расчленить период заполнения формы металлом на ряд моментов и определить в каждом из них величины усилий, возникающих в форме и действующие на трубку. Схематически это можно представить следующим образом (рис. 3 а, б, в).

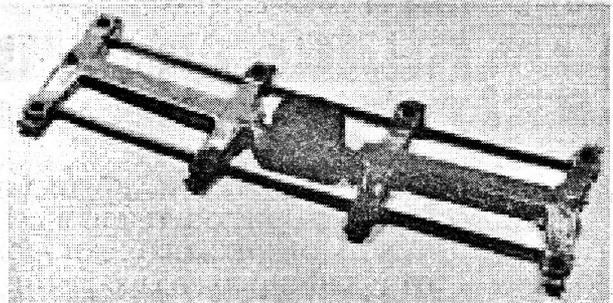


Рис. 1. Литейный комплект отливки дренажного трубопровода

а) Струя расплавленного металла из питателя ударяется о стенку трубки.

Узкая полоска трубки подвергается тепловому удару и давлению струи P_c . В этих условиях возможно резкое падение прочности стенки трубки в месте перегрева и деформация ее под действием давления струи.

б) Форма заполнилась металлом и в ней на некоторое время до «замерзания» питателя может устанавливаться удельное давление p_ϕ , приближающееся к давлению в камере прессования p_k .

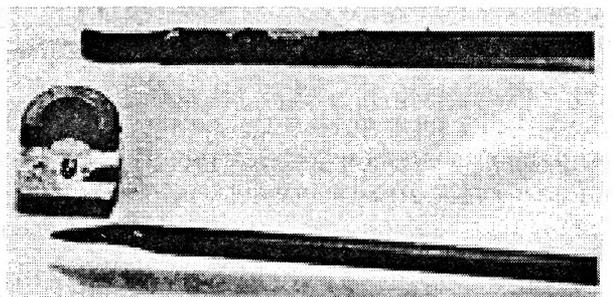


Рис. 2. Деформация армированной трубки в отливке угольника дренажного трубопровода

При недостаточной жесткости трубки, она начнет деформироваться.

в) После заполнения формы и «замерзания» питателя в отливке под воздействием процесса кристаллизации (усадки) возникают напряжения сжатия. Они определяют контактную прочность между отливкой и трубкой, т.е. усилие обжатия p_{yc} .

Усилие обжатия трубки кристаллизующимся сплавом отливки невелико в сравнении с удельным давле-

нием прессования, и не может привести к деформации последней. Его значение находится в определенной зависимости от толщины стенки отливки.

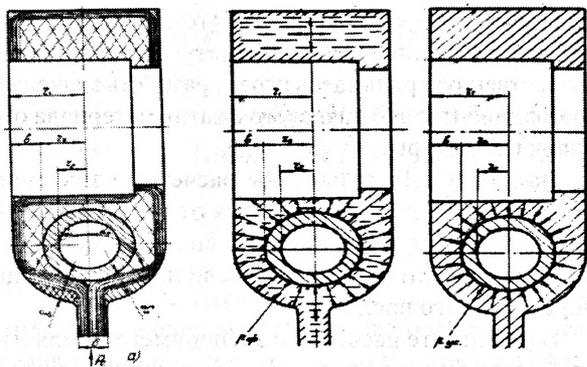


Рис. 3 а, б, в

Таким образом, действие сил на трубку в первом и втором моменте в решающей степени обусловлено конструкцией литниковой системы и техническими данными машины для литья под давлением, в третьем – конструкцией отливки.

Расчеты показывают, что в арматуре возникают напряжения, достигающие 12-15 кг/мм² при заливке сплавом АЛ-4 и 30-35 кг/мм² сплавом ЦАМ-4-1.

В зоне непосредственного удара струи температура арматуры может достичь температуры заливки, и предел ее прочности резко упадет. С целью уяснения, в какой именно момент этапа заполнения формы происходит деформация трубок были проведены дополнительные опыты. Форму (рис. 4), состоящую из корпуса 6 и крышки 3, в которую были вставлены трубки и стержни 4 диаметром 6 и 10 мм с различной толщиной стенки 5, свободно заливали сплавом 2 (АЛ-4 и АЛ-10) и после некоторой выдержки подвергали прессованию силой Р в стакане камеры сжатия 8 литейной машины. Затем эту же форму заполняли скоростным путем. И в первом, и втором случае трубки деформировались (рис. 5). Это говорит о том, что решающей причиной деформации является удельное давление прессования.

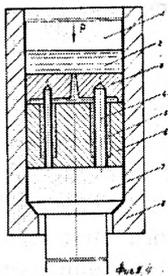


Рис. 4

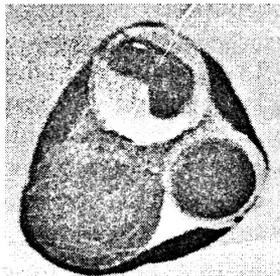


Рис. 5

Однако, удар струи в арматуру порождает зародыш деформации, которая развивается в дальнейшем под действием удельного давления прессования. Это подтверждают разрезы отливок с деформированными трубками.

Для толстостенных труб, у которых толщина стенки больше 0,1 среднего радиуса [3, 4, 5] тангенциальные напряжения от внешнего давления рассчитываются по формуле:

$$\sigma_t = -\frac{pr_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{\rho^2}\right)$$

а радиальные

$$\sigma_r = -\frac{pr_3^2}{r_3^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{\rho^2}\right),$$

где ρ – текущий радиус.

Эквивалентное напряжение равно

$$\sigma_s = (\sigma_t - \sigma_r) = \frac{2pr_3^2}{r_3^2 - r_2^2}$$

Для тонкостенных трубок, у которых толщина стенки меньше 0,1 среднего радиуса, допустимое удельное давление можно рассчитывать по формуле:

$$p = \frac{3EJ}{r^3} \quad \text{или} \quad p = \frac{S[\sigma]}{r^3}$$

Анализ формул показывает, что при постоянном давлении напряжения растут с увеличением диаметра трубопровода и с уменьшением толщины стенки отливки. При удельном давлении

$$p = \frac{[\sigma]}{2}$$

неизбежна деформации трубки со сколь угодно толстой стенкой. На рис. 6 приведена зависимость напряжений от удельного давления в форме, для трубки диаметром 6 мм и толщиной стенки 1 мм.

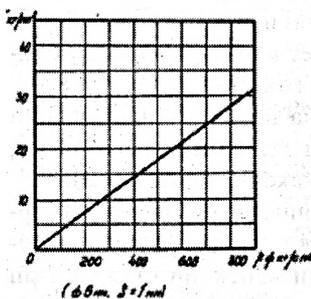


Рис. 6

В результате эксперимента была выявлена существенная роль толщины стенки отливки в деле обеспечения контактной прочности соединения отливки с трубкой и давления металла в форме.

С технологической точки зрения стенку отливки можно рассматри-

вать как канал литейной формы. От ее сечения зависит характер движения и скорость кристаллизации расплава, продолжительность пребывания его в жидком состоянии и передачи через него удельного давления из камеры прессования в полость литейной формы. Чем толще стенка, тем дольше в ней будет сохраняться подвижность расплава, тем равномернее будет распределение удельного давления прессования во всей литниковой системе: от камеры сжатия до полости формы. Последнее обстоятельство обеспечивает четкое воспроизведение металлом всех контуров формы и плотность отливки. При шероховатой поверхности арматуры в этом случае происходит хорошее сцепление ее с телом отливки. Наоборот, при тонкой стенке отливки в полость формы передается только какая-то доля давления, создаваемого в камере прессования машины.

С другой стороны стенка отливки является часто

конструктивным элементом. От ее сечения зависят работоспособность детали.

Таким образом, толщина стенки отливки должна соответствовать какому-то оптимальному значению, которое позволило бы обеспечивать нужное нам соотношение между давлениями в камере сжатия и в полости формы, с одной стороны, а также рациональный расход металла на изготовление отливки, при обеспечении достаточной ее прочности и надежного контакта арматурой, с другой.

В полости формы следует обеспечить такое удельное давление расплава, которое гарантировало бы плотность отливки, но не повлекло деформации, выбранной нами трубки. Величину необходимого давления и толщины стенок отливки и трубки можно рассчитать по приведенным выше формулам.

Следует далее рассчитывать, какое усилие обжатия трубки возникнет при выбранной толщине отливки. Остывающую армированную отливку трубопровода (рис. 7) можно рассматривать как составной цилиндр, в котором стальная трубка II является внутренним, а стенка отливки I наружным элементами. В процессе кристаллизации отливки вследствие различных значений коэффициента термического сжатия цветного сплава и стали, а также разности температур отливки и арматуры на поверхности их контакта возникают реакции, сжимающие трубку и растягивающие отливку, так как нагрев арматуры при заполнении формы расплавом вызывает увеличение ее линейных размеров. При совместном остывании линейные размеры отливки и арматуры начнут уменьшаться, что приведет к относительному снижению напряжений в зоне контакта.

Решающее значение на величину напряжений оказывает конечный этап затвердевания отливки, когда сплав приобретает максимальные механические свойства, т.е. напряжения, возникающие на первой стадии охлаждения, не суммируются, а перекрываются напряжениями конечной стадии. При температуре, например, 300°C предел прочности сплава АЛ-4 составляет лишь около 10% его значения при нормальных условиях.

Как видно из эпюры (рис. 7), напряжения сжатия

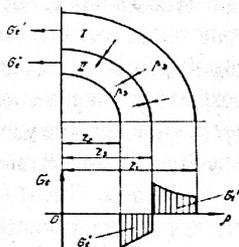


Рис. 7

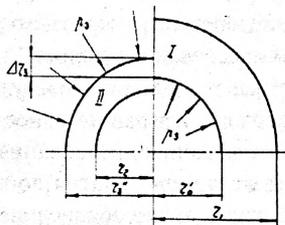


Рис. 8

уменьшаются с увеличением радиусов отливки, т.е. после некоторого оптимального значения толщина стенки отливки уже не оказывает влияния на величину напряжения, а следовательно и на усилие обжатия на границе контакта отливки и трубки. Значение обжатия можно

найти путем расчета величины натяга между отливкой и трубкой (рис. 8). Абсолютная его величина равна разности уменьшения внутреннего диаметра отливки, в процессе кристаллизации (термического сжатия) и увеличения диаметра арматуры при нагреве. Существенную роль здесь играет разность значений коэффициентов термического сжатия материала отливки и арматуры.

На рис. 9 и 10 приведены расчетные значения зависимости удельного обжатия от толщин стенок отливки и арматуры, из которых видно, что утолщение этих элементов повышает величину обжатия до определенного предела.

В результате расчетов и экспериментов для изготовления дренажного трубопровода двигателя трактора "Беларусь" была выбрана цельнотянутая стальная трубка 6х1, а толщина ступени отливки (угольника) 2,5-3 мм.

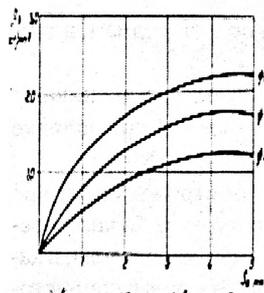


Рис. 9. Зависимость удельного давления обжатия от толщины стенки отливки S_o (толщина стенки трубки 1 мм)

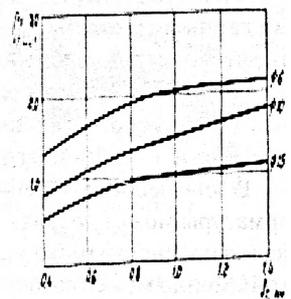


Рис. 10. Зависимость удельного давления обжатия от толщины стенки трубки S_t (толщина стенки отливки 3 мм)

Трубопровод прошел эксплуатационные испытания и запущен в массовое производство.

Конструкция и способ изготовления защищены авторскими свидетельствами СССР, патентами США, Англии, Франции и Италии.

Для облегчения выбора параметров отливок с трубчатой арматурой применительно к определенному типу литейной машины разработаны диаграммы, определяющие взаимозависимость толщин стенок отливок и арматуры, усилия прессования машин для литья под давлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заславский М.Л., Герчиков В.И. "Исследование процесса армирования и расчет машин на ЭВМ". "Наука", Сибирское отделение, 1971.
2. Авторское свидетельство СССР, № 356957.
3. Беляев Н.М. *Сопротивляемость материалов*, М., 1976, с. 412-418.
4. Федосеев В.И. *Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов*, М, "Наука", 1973, с. 276.
5. Татур Г.К. *Общий курс сопротивления материалов*. Минск, 1974, с. 368.