

34.43.
Б 44

В. А. БЕЛЫЙ, Л. С. ПИНЧУК

**ВВЕДЕНИЕ
В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ
СИСТЕМ**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
------------------	---

Р а з д е л I

ТЕОРИЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ.....	7
---------------------------------	----------

Глава 1

Основные понятия. Терминология

1.1. Герметичность соединений	9
1.2. Методы герметизации.....	13
1.3. Классификация уплотнений.....	35

Глава 2

Герметизируемые среды

2.1. Проникающая способность. Облитерация...40	
2.2. Влияние сред на работоспособность герметизаторов.....	48
2.3. Специфика вакуумных герметизирующих устройств.....	53

Глава 3

Герметичность контактных уплотнений

3.1.Формирование герметичных соединений.....	59
3.2.Герметизирующее давление.....	64
3.3.Принцип самоуплотнения.....	68
3.4.Деформационно-прочностные свойства герметизаторов.....	74

Глава 4

Основы расчета уплотнений

4.1. Контактно-гидродинамическая задача.....	80
4.2. Некоторые решения уравнений гидродинамики	85
4.3. Инженерные методы оценки утечек.....	93

Глава 5

Надежность герметизации

5.1. Характеристики надежности.....	101
5.2. Принципы построения герметизирующих систем	104
5.3 Герметичность и износ.....	108
5.4 Тепловой режим эксплуатации уплотнений.....	113

Раздел II

ПОЛИМЕРЫ-ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ..... 119

Глава 6

Современные требования к герметизирующим материалам

6.1. Материаловедение и герметология.....	121
6.2. Герметизирующая способность.....	126
6.3. Температурный диапазон герметизации....	129
6.4. Антифрикционность и износостойкость.....	132
6.5. Стойкость к действию сред.....	135
6.6. Жесткость в соединениях.....	138
6.7. Технологичность и экономичность.....	141

Глава 7

Структура и свойства полимерных герметизирующих материалов

7.1. Структурные особенности полимеров как материалов уплотнений.....	143
7.2. Влияние давления на деформационно-прочностные свойства полимеров.....	149
7.3. Разрушение полимеров при воздействии герметизирующих сред.....	154
7.4. Трение полимерных материалов в герметизирующих устройствах.....	163

Раздел III

СОЧЕТАНИЕ В ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ПОЛИМЕРОВ, МЕТАЛЛОВ И ДРУГИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Глава 8

Некоторые вопросы материаловедения многокомпонентных систем

8.1. Принципы прогнозирования свойств композиций.....	173
8.2. Задачи материаловедения в области металлополнмерных систем.....	175
8.3. Электрохимическое взаимодействие полимеров и металлов	179
8.4. Коррозия металлополнмерных деталей и узлов.....	192

Глава 9

Композиционные герметизирующие материалы

9.1. Критерии сочетания компонентов герметизирующих материалов.....	204
9.2. Эластомерные материалы.....	205
9.3. Термопластичные композиции.....	214
9.4. Материалы на основе реактопластов.....	225
9.5. Герметизирующие материалы на основе древесины.....	233

Глава 10

Герметизирующие полимерные покрытия

10.1. Факторы, обуславливающие герметичность соединений, содержащих полимерные покрытия.....	238
10.2. Эксплуатационные свойства герметизирующих покрытий.....	247
10.3. Повышение надежности герметизирующих покрытий.....	254

Глава 10

Герметизирующие оболочки

11.1. Применение.....	259
11.2. Оболочки в неподвижных уплотнениях.....	261
11.3. Разделительные перегородки.....	264
11.4. Оболочковые герметизаторы подвижных соединений.....	267
11.5. Использование внутренних напряжений для создания герметизирующего давления.....	270
Литература.....	276

Глава I

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ТЕРМИНОЛОГИЯ

1.1. ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ

Поверхности технологических изделий всегда имеют дефекты и разнообразные по форме и размерам неровности в результате технологической обработки. Поэтому в соединениях деталей машин неизбежно образуются зазоры, через которые может происходить утечка рабочего вещества при возникновении перепада давления. Термин «герметизация» означает обеспечение непроницаемости соединений (и стенок) в аппаратах, машинах, сооружениях или емкостях для жидкостей и газов. Герметичность соединений — это свойство соединений обеспечивать настолько малую утечку, чтобы ею можно было пренебречь в рабочих условиях. Достигнуть герметичности разъемных и подвижных соединений чрезвычайно трудно, поскольку любое взаимное перемещение контактирующих деталей создает предпосылки для переноса сред в микронеровностях сопряженных поверхностей.

В машиностроении для предотвращения или уменьшения утечек применяют герметизирующие устройства (уплотнения), взаимодействующие с подвижными или неподвижными частями машин. В связи с тем, что термин «уплотнение» имеет два различных толкования: увеличение плотности (например, уплотнение бетонной смеси) и устройство для герметизации, авторы работы [1] считают более логичным вместо терминов «уплотнение, уплотнительное устройство, уплотнительная способность» и других использовать термины «герметизатор, герметизирующее устройство, герметизирующая способность». С этим доводом можно согласиться, однако абсолютный отказ от термина «уплотнение», ставшего общепринятым в технических дисциплинах, по-видимому, нецелесообразен. Дело в том, что для классической уплотнительной техники, имеющей многовековую историю, характерна приверженность к традиционным, неоднократно проверенным формам. Терминология представляет собой наиболее консервативную форму любой области знаний, и перестройка ее всегда сопряжена с преодолением определенных привычек и традиций. История техники знает немало примеров, когда искусственно созданная терминология лишь увеличила разрыв между теорией и практикой.

В инженерной практике понятие «герметичность» часто используют для сравнительной оценки эффективности уплотнений, обнаруживающих утечки. Такие сочетания, как «недостаточная герметичность», «повышение герметичности», к сожалению, встречаются в литературе [2, 3]. Авторы некоторых работ употребляют понятие «плотность», имея в виду герметизирующую способность соединений [4]. При оценке эффективности герметизирующих устройств, обеспечивающих заданный уровень утечек, целесообразно пользоваться термином «степень герметичности», как рекомендовано в монографиях [5, 6]. Многие негерметичные в буквальном понимании этого слова машиностроительные узлы обеспечивают степень герметичности агрегатов, достаточную для их работоспособности.

Степень герметичности одного и того же соединения различна при запирании сред, отличающихся агрегатным состоянием, физическими и другими свойствами. Поэтому при оценке эффективности герметизации указывают герметизируемые среды, по отношению к которым определялась степень герметичности. Если среды находятся под постоянным избыточным давлением, для количественной оценки степени герметичности используют скорость утечки, которую выражают в виде объема или массы потерь среды за единицу времени. Характеристикой утечки из гидросистем при длительном хранении служит удельная утечка, которую обычно относят на метр периметра уплотнения за год. В этом случае негерметичность обнаруживается практически как отпотевание, которое регистрируют, например, по замасливанию фильтровальной бумаги, специальной меловой окраски и другими способами. Удельная утечка жидкостей при отпотевании составляет несколько десятков миллиграммов в год на метр периметра уплотнения. В некоторых случаях удобнее пользоваться параметром предельного допустимого давления герметизируемых сред, при

котором утечка не превышает заданную величину. Аналогичной характеристикой мембранных герметизирующих устройств является разрывное давление, разрушающее мембрану и освобождающее проходное сечение каналов для выпуска среды.

О герметичности вакуумных систем судят по скорости изменения давления после отключения системы от вакуумного насоса. Степень герметичности выражают количественно величиной натекания:

$$Q = \frac{V\Delta p}{\Delta\tau}$$

(I-1)

где Q — натекание, м³-Па/с; V — объем вакуумной системы, м³; Δp — изменение давления в системе, Па; $\Delta\tau$ — время, в течение которого система изолирована от насоса, с.

Суммарное натекание считается допустимым, если быстрота действия вакуум-насоса и проводимость вакуумного трубопровода достаточны, чтобы поддерживать требуемое давление в вакуумной системе.

Важнейшая характеристика герметизирующих устройств — ресурс — определяется как временной интервал или число рабочих циклов агрегата, в течение которого сохраняется требуемая степень герметичности. Герметизирующие устройства, в которых металлы сочетаются с неметаллическими материалами, вследствие разницы в величине теплового расширения компонентов особенно чувствительны к колебаниям температуры. В этом случае степень герметичности уплотнений ограничивают температурным диапазоном эксплуатации, верхняя граница которого обычно обусловлена пределом теплостойкости, либо допустимой в течение заданного времени деформацией наименее надежного элемента.

На рис. I.1 приведена схема, иллюстрирующая взаимосвязь основных понятий и терминов, используемых при описании герметичности соединений.

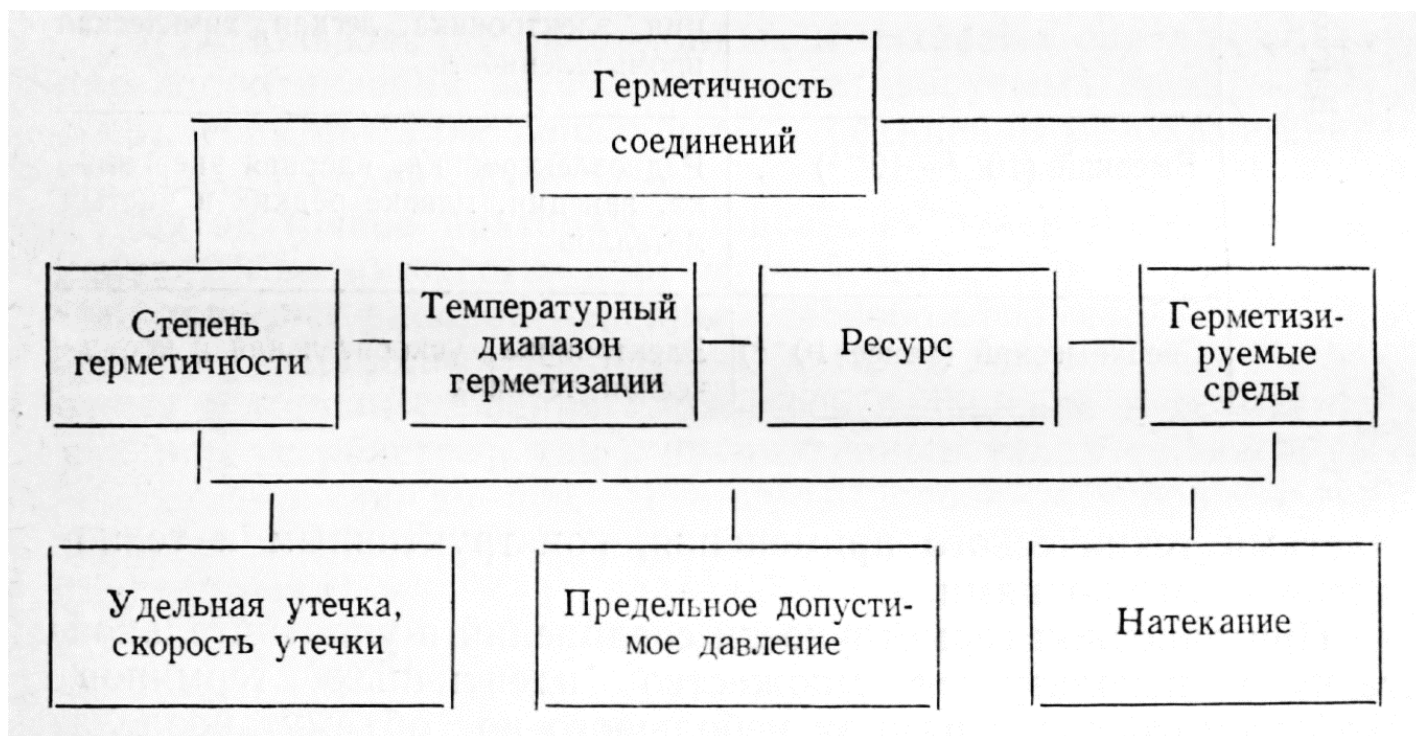


Рис. I.1. Взаимосвязь основных понятий и терминов

Диапазон герметизируемых давлений в современной технике чрезвычайно широк: от избыточных давлений $(1—3,5) \cdot 10^{10}$ Па, используемых при синтезе алмазов, кубического нитрида бора и других сверхтвердых материалов, до космического вакуума. Классификация соединений по величине предельного герметизируемого давления (табл. 1.1) позволяет дифференцировать системы герметизации в соответствии с областями технического применения, конструктивным и технологическим уровнями.

Классификация соединений по величине предельного герметизируемого давления

Избыточное давление жидкостей и газов	Диапазон герметизируемых давлений, Па	Применение
	Сверхвысокое (свыше 10^{10})	Создание материалов со специальными свойствами, синтез алмазов, обработка материалов взрывом
	Высокое ($10^{10}—10^8$)	Газонефтедобыча, химическая промышленность (процессы полимеризации)
	Среднее ($10^8—10^6$)	Нефтяное машиностроение, энергетическая арматура, гидро- и пневмопривод, химическая промышленность (пиролиз, гидролиз, катализ)
	Низкое ($10^6—10^5$)	Общее машиностроение, арматура гидро- и пневмосистем
Вакуум	Низкий ($10^5—10^2$)	Обогащение руд, строительство, химическая, фармацевтическая, пищевая промышленность
	Средний ($10^2—10^{-1}$)	Литье и сварка металлов, металлизация, электроника, легкая, химическая промышленность
	Высокий ($10^{-1}—10^{-5}$)	Радиоэлектроника, ядерная энергетика, авиация, плавка редких и чистых металлов
	Сверхвысокий (менее 10^{-5})	Электроника, ускорительная и космическая техника

При описании герметичности соединений в уплотнительной технике используется множество идентичных терминов. Их рассмотрение в рамках небольшого по объему раздела вряд ли целесообразно. Мы вынуждены ограничиться анализом лишь основных понятий, без которых, на наш взгляд, невозможно обойтись при обзоре современного состояния герметологии.