

Ю.М. Никитин

**Конструирование элементов деталей и узлов
авиационных двигателей**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
Ю11

Ю11 **Ю.М. Никитин**
Конструирование элементов деталей и узлов авиационных двигателей / Ю.М. Никитин – М.: Книга по Требованию, 2023. – 288 с.

ISBN 978-5-458-44536-8

В книге рассматриваются различные конструктивные решения, используемые при проектировании деталей и узлов авиационных двигателей. В каждой главе излагаются общие требования, предъявляемые к рассматриваемым элементам конструкций, и даются рекомендации на основе накопленного в промышленности опыта.

ISBN 978-5-458-44536-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТЫХ, МЕХАНИЧЕСКИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ И СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

В этой главе собраны элементарные сведения, без знания которых нельзя конструировать детали и узлы двигателей.

Содержание главы не исчерпывает всех вопросов, встречающихся при конструировании. В некоторых случаях возможны отступления от указанных рекомендаций. В этом случае необходимо обращаться к литературе по технологии изготовления деталей и опытным данным.

§ 1. ЛИТЫЕ ДЕТАЛИ

Качество литья и работоспособность литых деталей в процессе эксплуатации двигателя во многом зависят от их конструктивного оформления.

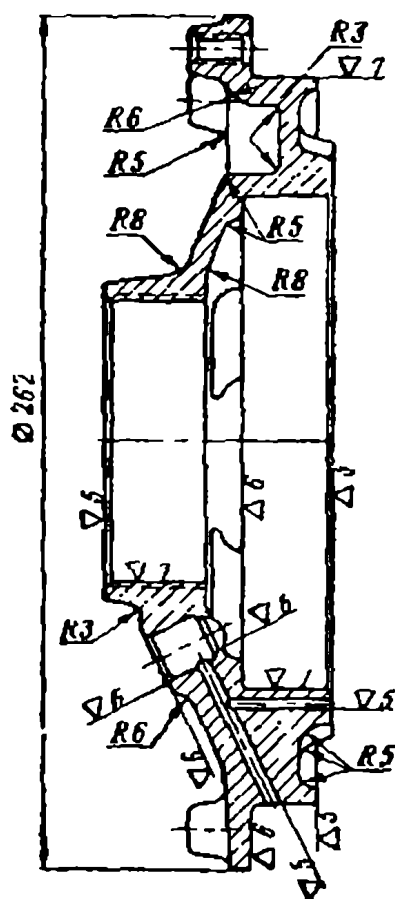
При конструировании литых деталей необходимо по возможности выдерживать равномерную толщину стенок, избегая местных скоплений материала, чтобы при остывании жидкого металла в форме охлаждение было равномерным; это предупредит возникновение рыхлот, усадочных раковин и трещин, местных внутренних напряжений и других дефектов. Особенно важно предусмотреть способы предупреждения дефектов в местах перехода к бобышкам, фланцам и тому подобным утолщениям.

В литых деталях надо избегать острых углов и переходов с малыми радиусами скругления, так как наличие их приводит к появлению местных внутренних напряжений, а иногда и к трещинам и рыхлотам. При отсутствии технической документации на подобные детали радиусы галтелей для свободного литья можно принимать $R \geq 8 \div 10$ мм для крупногабаритных деталей и $R \approx 3 \div 5$ мм для деталей средних размеров (фиг. 1.1). При меньших радиусах галтелей может произойти поломка стержней при заливке жидкого металла, а следовательно, нарушение геометрической формы детали. Отливки с $R \leq 4$ мм можно получить при кокильном и прецизионном литье. Для примера на фиг. 1.2 показана лопатка соплового аппарата турбореактивного двигателя, выполненная

прецизионным литьем. Такое литье позволяет получить малые радиусы скругления на кромках профиля при жестком допуске.

Для облегчения выемки модели из формы детали должны отливаться с уклоном $3 \div 7^\circ$. Для этой же цели нужно стремиться к упрощению формовки и уменьшению количества разъемов модели.

○ *остальное*



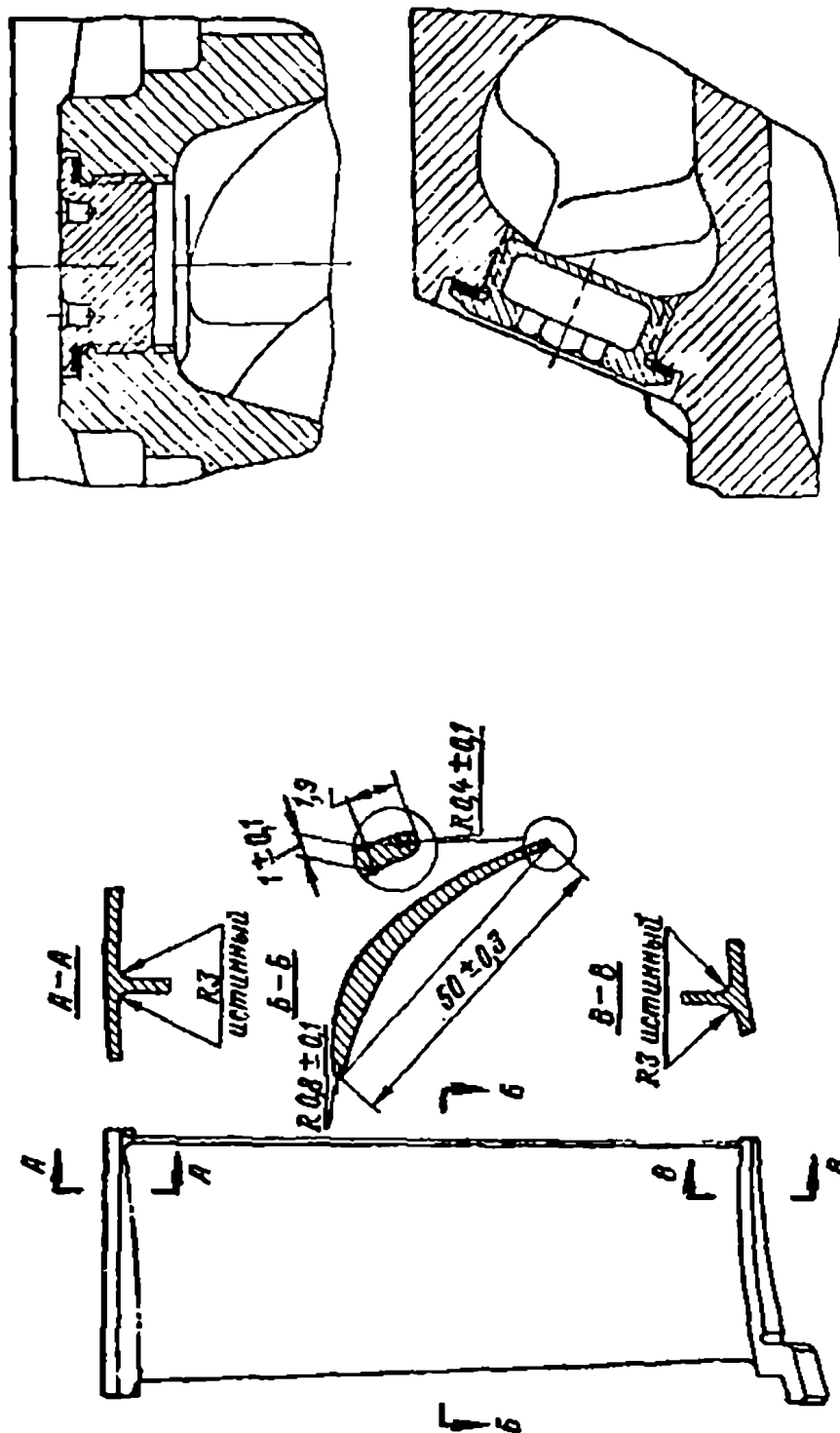
Фиг. 1.1. Крышка среднего подшипника турбореактивного двигателя ВК-1.

Внутренние полости в деталях образуют в форме с помощью стержней. Для устойчивого крепления стержней в форме при конструировании деталей с закрытыми внутренними полостями необходимо предусмотреть технологические отверстия, через которые извлекают материал стержней из готовой отливки. Эти отверстия закрывают заглушками, как показано на фиг. 1.3.

В некоторые детали, отливаемые из алюминиевых сплавов, в форму устанавливают отдельные алюминиевые элементы, заранее обработанные механическим путем. Эти элементы заливаются жидким металлом и прочно соединяются с ним. Примером может служить коленообразный патрубок центробежного компрессора двигателя ВК-1, показанный на фиг. 1.4. Направляющие лопатки 2 патрубка 1 перед отливкой закрепляют в стержне, образующем внутреннюю конфигурацию канала.

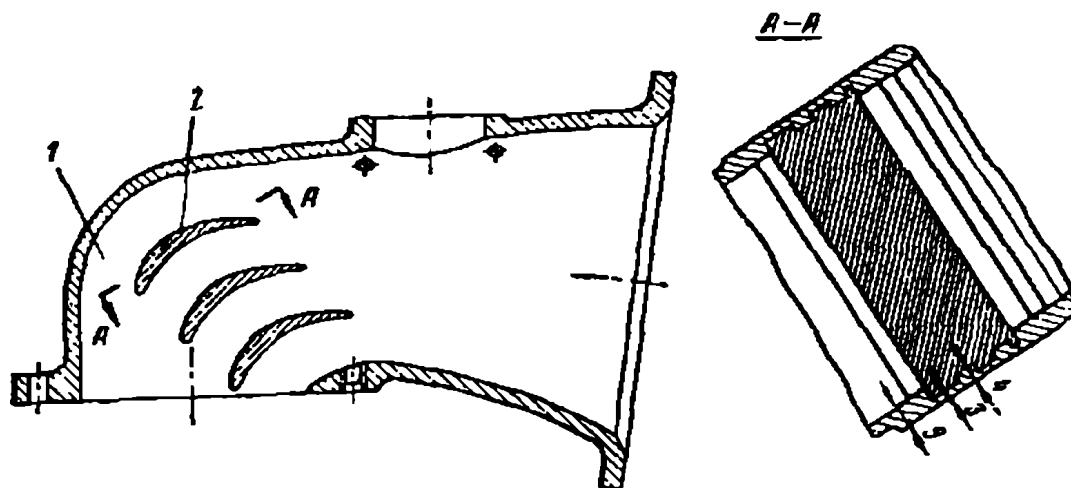
Напряженные места литых деталей необходимо усиливать ребрами. На плоских и конических стенках крупных деталей тел вращения нужно по возможности избегать радиального расположения ребер.

При конструировании желательно ставить спиральные и прямые тангенциально расположенные ребра и связи, как показано на фиг. 1.5. При радиальном расположении ребер, особенно на крупногабаритных деталях, возможно появление трещин при усадке, а также при работе вследствие значительных термических напряжений из-за неравномерного застывания металла при отливке. При тангенциальном или спиральном расположении ребер и связей внутренние напряжения в них значительно снижаются, так как при усадке центральная бобышка имеет возможность повернуться, не вызывая значительных напряжений изгиба в ребрах. Этим объясняется и меньшая возможность появления трещин от

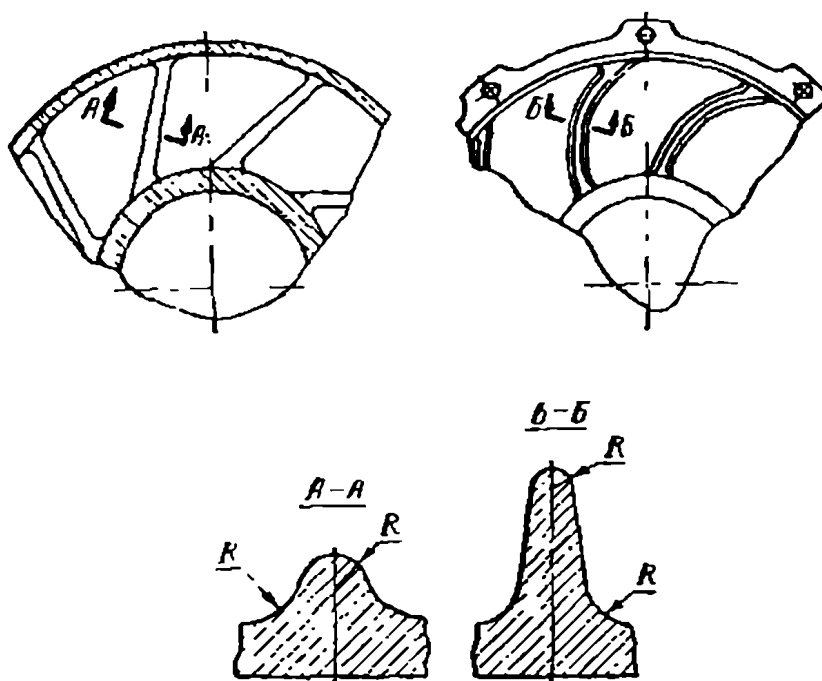


Фиг. 1.2. Лопатка соплового аппарата турбореактивного двигателя ВК-1.

Фиг. 1.3. Примеры постановки технологических заглушек в литье.



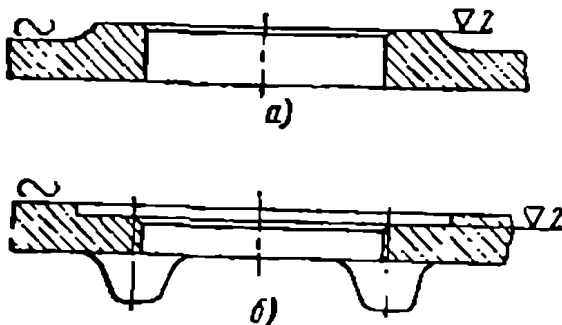
Фиг. 1.4. Коленообразный патрубок центробежного компрессора турбореактивного двигателя ВК-1.



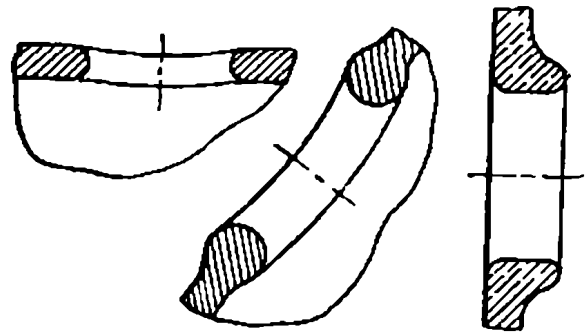
Фиг. 1.5. Расположение ребер.

температурных напряжений в таких ребрах при неравномерном нагревании деталей.

Ребра должны иметь плавные переходы к стенке и радиус закругления на вершине. Не следует выполнять ребра очень высокими. Высокие ребра при явлениях продольного изгиба могут способствовать появлению трещин. Не допускается перерезывание ребер и связей при механической обработке, так как эти места могут стать очагом концентрации напряжений и, следовательно, местом возможного появления трещин. Для облегчения извлечения



Фиг. 1.6. Расположение обрабатываемых поверхностей.



Фиг. 1.7. Примеры выполнения необрабатываемых отверстий в литье.

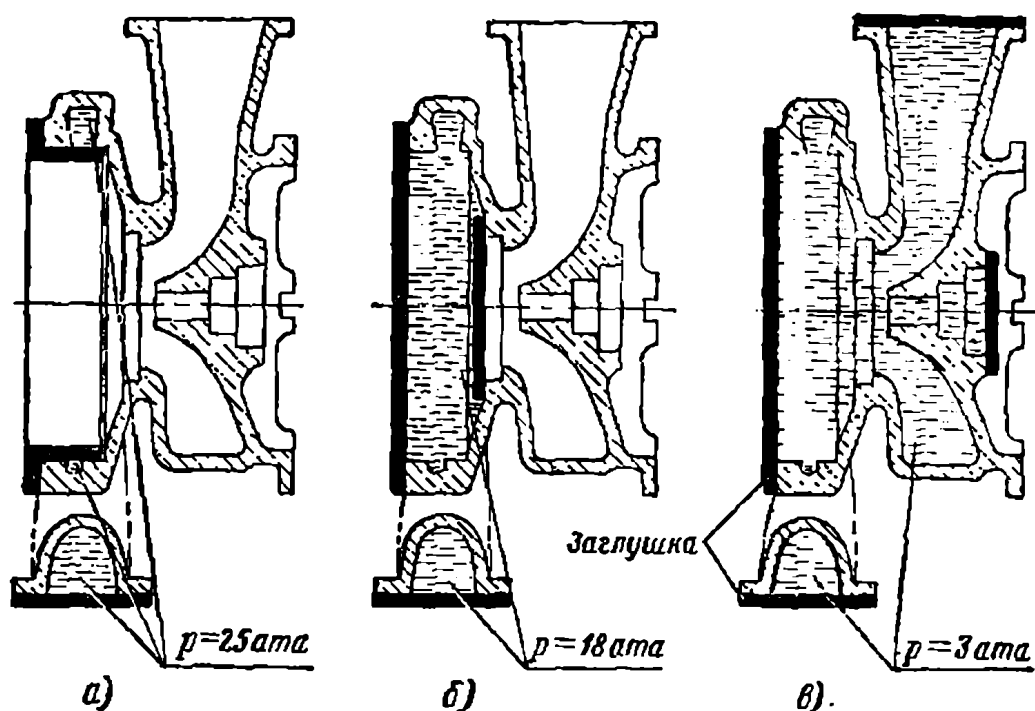
моделей при формовке и лучшего заполнения формы металлом при отливке боковые уклоны ребер делают с несколько большими углами $\approx 10 \div 12^\circ$.

Поверхности литых деталей, подвергающихся механической обработке, должны быть выше черных необрабатываемых поверхностей (фиг. 1.6, а) или ниже их (см. фиг. 1.6, б). В первом случае толщина основных стенок детали получается меньшей, условия для механической обработки упрощаются, так как возможна обработка на проход. Такая форма литых деталей более целесообразна, особенно в тех случаях, когда обрабатываемые поверхности должны находиться в одной плоскости.

Необрабатываемые отверстия рекомендуется выполнять с усиленными краями и плавными очертаниями, как показано на фиг. 1.7. Следует избегать отверстий в нагруженных частях детали.

Для деталей, подвергающихся испытанию на герметичность, конструктор должен дать схему расположения заглушек для создания замкнутых полостей и указать рабочее тело и его давление при проведении испытаний. Так, например, выходная улитка центробежного насоса (фиг. 1.8, а) должна подвергнуться испытанию на высокое давление; часть корпуса насоса, где располагается рабочее колесо (см. фиг. 1.8, б) — на среднее давление и входной патрубок насоса (см. фиг. 1.8, в) — на низкое давление.

В ряде случаев пористость стенок можно устранить, пропитывая их специальными составами. Так, например, некоторые литые де-



Фиг. 1.8. Схемы постановки заглушек для проведения гидравлических испытаний литья.

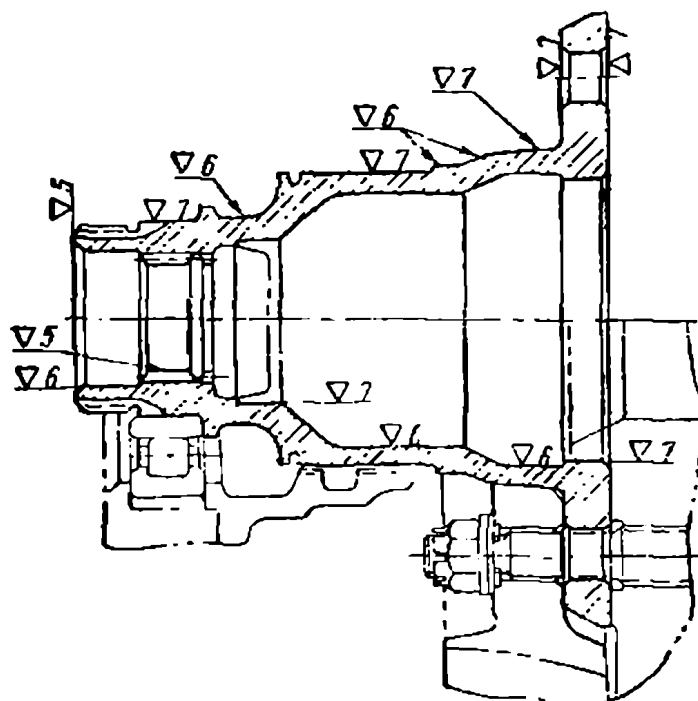
тали поршневых авиадвигателей пропитывались погружением их в ванну с бакелитовым лаком, при вакууме во внутренней полости их, после чего просушивались в специальных печах.

§ 2. МЕХАНИЧЕСКИ ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ ДЕТАЛИ

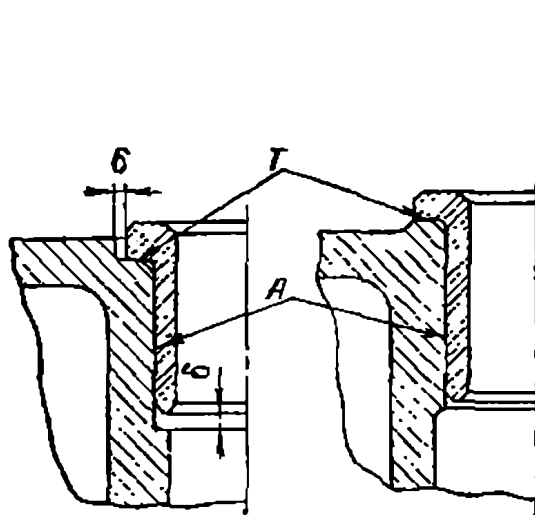
При конструировании литых деталей необходимо ограничивать размеры обрабатываемых поверхностей, а у полностью механически обрабатываемых деталей размеры поверхностей с высоким классом чистоты. Назначать класс чистоты обработки поверхностей нужно с учетом опыта проектирования и создания авиационных двигателей. Завышение классов чистоты и увеличение поверхностей обработки ведет к удорожанию производства. На фиг. 1.1 и 1.9 приведены примеры применения различных классов чистоты обработки поверхностей деталей.

В местах сопряжения деталей нужно избегать посадки по двум и более поверхностям и подгонки одновременно по нескольким поверхностям. Две детали могут сопрягаться по цилиндрической поверхности *А* с упором по торцу *Т* (фиг. 1.10), по конической поверхности *Б*, которая одновременно обеспечивает и упор (фиг. 1.11), по шплицам при различных типах центрирования с упором по боковым граиям торцовых шлицев (фиг. 1.12, а) или по торцу *Ш* (см. фиг. 1.12, б). Выдерживание гарантированных зазоров δ в рассмотренных случаях сопряжений деталей гарантирует

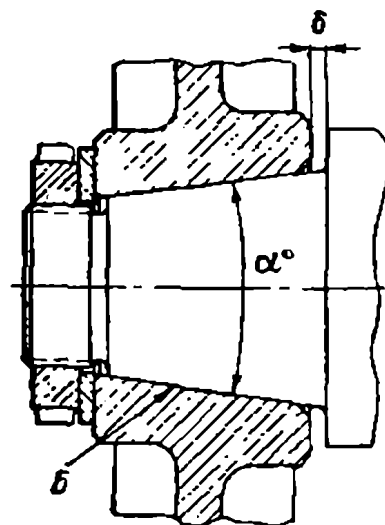
от посадки по другим соосным цилиндрическим поверхностям и от дополнительных упоров. При резьбовой посадке с упором на сбеги резьбы (фиг. 1.13, а), в донышко отверстия (см. фиг. 1.13, б) или



Фиг. 1.9. Передний вал центробежного компрессора турбореактивного двигателя ВК-1.



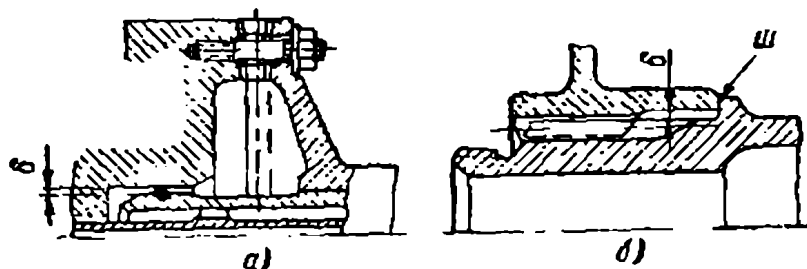
Фиг. 1.10. Посадка деталей по цилиндрической поверхности с упором по торцу.



Фиг. 1.11. Посадка детали и упор по конической поверхности.

по торцу буртика (см. фиг. 1.13, в) не следует допускать второго упора, гарантируя это размером h . Посадка по двум параллельно расположенным поверхностям недопустима. При посадке узлов,

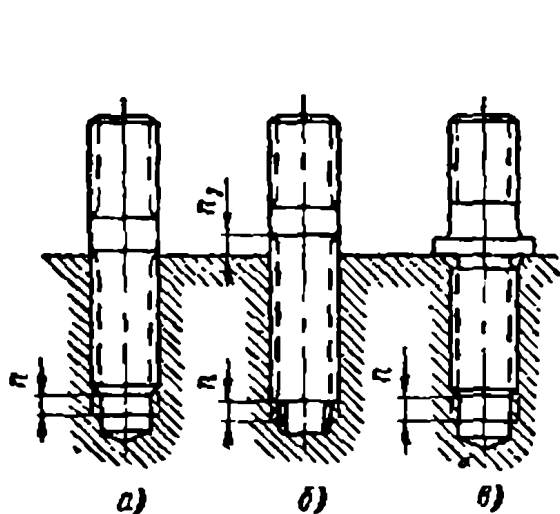
имеющих разъемы (фиг. 1.14), необходимо предусматривать совместную механическую обработку торца Φ на деталях 1 и 3 в собранном узле, обеспечив предварительно надежное фиксирование их от смещения при повторных сборках. Фиксирование деталей 1



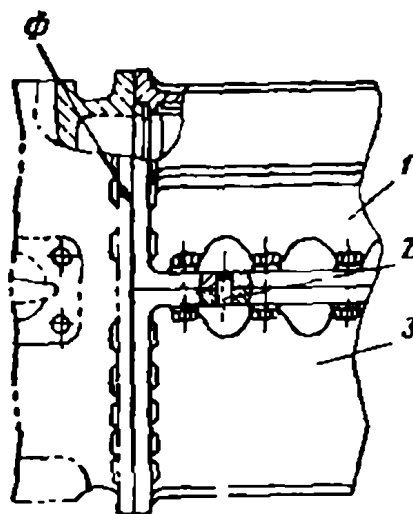
Фиг. 1.12. Посадка деталей по шлицам с упором по боковым граням шлицев или по торцу.

и 3 можно осуществить штифтами 2, установленными в плоскости разъема.

Для облегчения механической обработки деталей, получения необходимой точности их изготовления или использования более рациональных форм заготовок нужно по возможности упрощать фор-



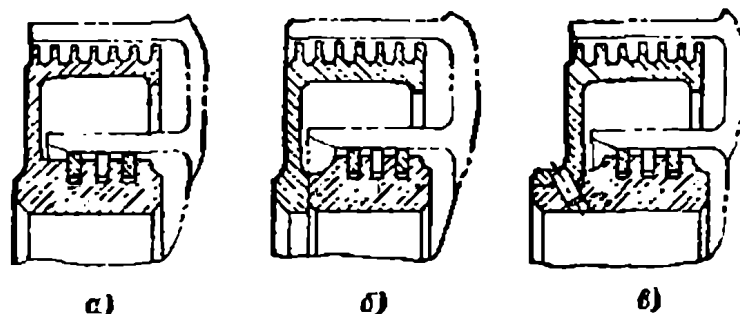
Фиг. 1.13. Посадка деталей по резьбе.



Фиг. 1.14. Сопряжение деталей по двум взаимно-перпендикулярным плоскостям.

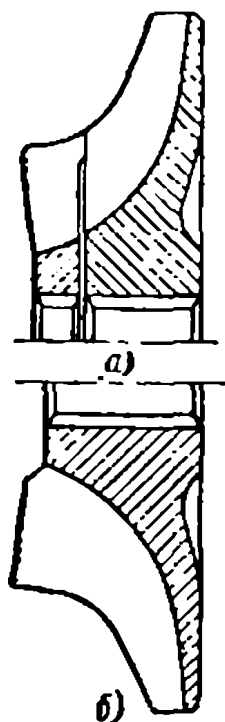
мы деталей. В ряде случаев возможен переход к составным деталям, соединяемым в механическом или сборочном узле. Так, например, для облегчения шлифования канавок под маслоуплотняющие кольца (фиг. 1.15, а) комбинированного лабиринтно-кольцевого уплотнения необходимо перейти к разборному (см. фиг. 1.15, б) или составному (см. фиг. 1.15, в) варианту конструкции. Изготов-

ление колеса центробежного компрессора заодно с лопатками вращающегося направляющего аппарата (ВНА) — заборника (фиг. 1. 16, б), значительно усложнило бы механическую обработку

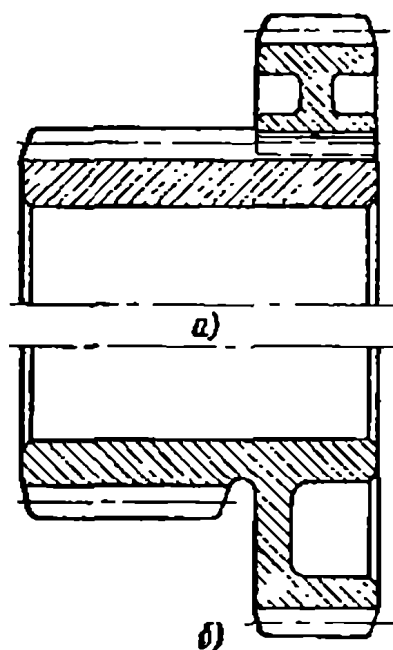


Фиг. 1. 15. Комбинированное лабиринтно-кольцевое уплотнение.

Поэтому в большинстве случаев ВНА изготавливают как отдельную деталь, соединяемую с колесом при сборке (см. фиг. 1. 16, а). Составная двойная шестерня (фиг. 1. 17, а) дает возможность шли-



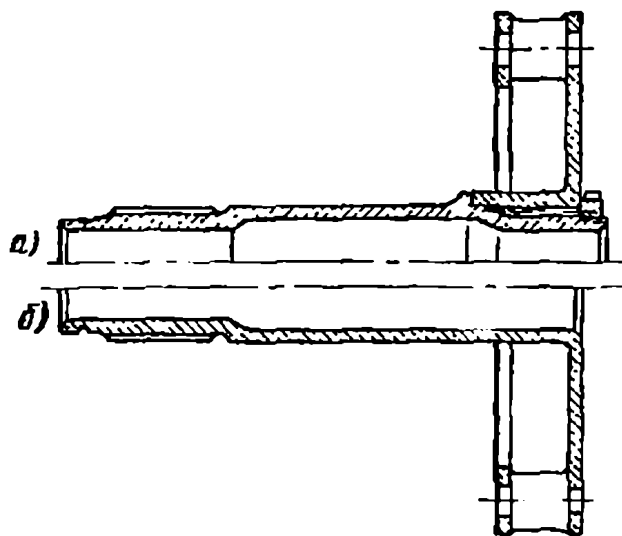
Фиг. 1. 16. Колесо центробежного компрессора с лопатками ВНА.



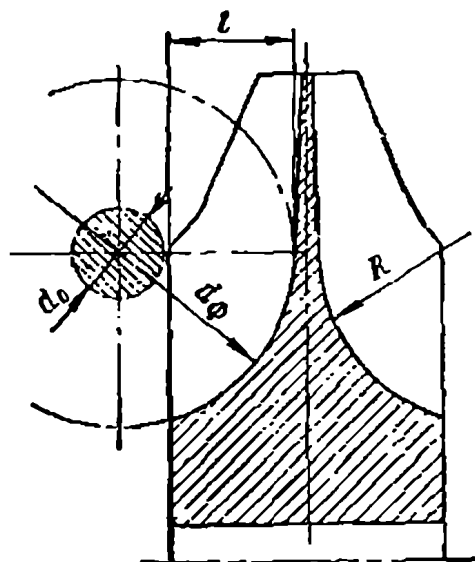
Фиг. 1. 17. Двойная шестерня.

фования зубьев как малого, так и большого венца, а следовательно, обеспечивает более высокую точность изготовления по сравнению с цельной (см. фиг. 1. 17, б). Составной вариант вала редукто-

ра с ведущим диском (фиг. 1.18, а) позволяет использовать более простые по форме заготовки, чем цельный вариант (см. фиг. 18, б). При этом обеспечивается меньший отход материала в стружку.

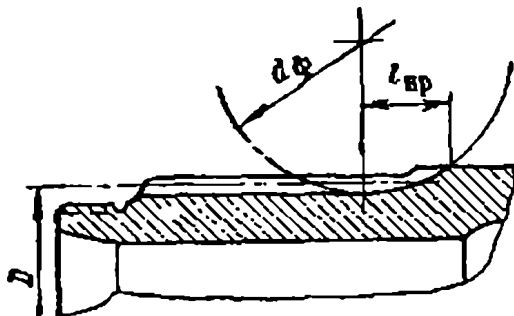


Фиг. 1.18 Вал редуктора с ведущим диском.



Фиг. 1.19. Определение минимального размера радиуса перехода от диска к ступице колеса центробежного компрессора.

Назначая размеры элементов детали, необходимо учитывать способ обработки и размеры режущего инструмента. Так, например, при обработке лопаток рабочего колеса центробежного ком-



Фиг. 1.20. Выбор диаметра фрезы для обработки шлицевого участка вала.

прессора (фиг. 1.19) радиус R перехода от диска к ступице определяет диаметр фрезы d_ϕ . Учитывая реально возможный диаметр оправки d_0 и вылет лопатки l , радиус перехода должен быть $R > \left(l + \frac{d_0}{2}\right)$. При обработке шлицев (фиг. 1.20) радиус выхода шлицев выбирают из удобства обработки, жесткости оправки ре-