

Глава 10. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

10.1. Развитие Джозефом Витвортом концепции взаимозаменяемости деталей

Приоритет в решении вопроса взаимозаменяемости принадлежит Джозефу Витворту (1803–1887) — английскому инженеру и предпринимателю [6, 8].

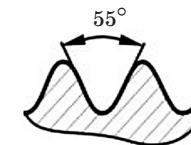
В 1825 г. Витворт отправился в Лондон и поступил работать на завод Модсли, где изготовил с помощью притирочной пасты и шабера первый свой точный инструмент — поверочную плиту (рис. 10.1) для проверки плоскостей.

Работая у себя на квартире, он притер (при притирке с обрабатываемой поверхности детали снимается слой материала с помощью абразивных зерен, свободно распределенных в пасте или суспензии, нанесенной на поверхность инструмента — притира; операция сводится к многократным относительным перемещениям притира и детали или обеих деталей совместно с абразивным материалом, при этом можно получить поверхность с параметром шероховатости $R_a = 0,04 \dots 0,02$ мкм и с отклонениями от требуемой геометрической формы до $0,1 \dots 0,3$ мкм) три металлические плиты так, что они стали прилипать друг к другу. Высотные значения шероховатости приведены в приложениях Л1 и Л2. В 1833 г. Витворт вернулся в Манчестер и здесь открыл свою мастерскую. В 1840 г. он создал свою технологию измерения в технике и на-



Рис. 10.1. Поверочная плита

Рис. 10.2. Резьба Витворта



звал ее «окончательное измерение». При «окончательном измерении» использовались точная плоская поверхность и винт измерения — оба компонента его собственной разработки. Эта система, с точностью измерения до одной миллионной доли дюйма, была продемонстрирована на Всемирной выставке 1851 г. в Лондоне.

До 1840 г. шаг и форма резьбы винтов выбирали каждой мастерской по своему усмотрению. Витворт собрал огромную коллекцию разных винтов от всех известных английских фирм и пришел к выводу, что размеры их можно стандартизировать по диаметру: $1/4''$, $1/2''$, $1''$ и $1,5''$, а также по шагу: при диаметре $1/4''$ отношение шага к диаметру принято $1/5$, при диаметре $1/2''$ это же отношение взято $1/6$ и т. д. (знак $''$ обозначает дюйм — английскую меру длины, равную 25,4 мм). Угол профиля резьбы выбран равным 55° (рис. 10.2). Эта резьба, известная и поныне как резьба Витворта, была принята в 1841 г. для английского вооружения и потом стала известна во всем мире.

В 1840-е гг. Витворт и его фирма начали изготавливать для всего цивилизованного мира точные измерительные заводские приборы с точностью измерений до $0,0001''$ (0,04 мм), мерные плиты, калибры, шаблоны. Благодаря этому появилась возможность получать детали и узлы, вполне тождественные между собой. Деталь стало возможным устанавливать в узел, а узел в машину без всякой пригонки.

Витворт умер в Монте-Карло, оставив после себя огромное состояние.

10.2. Мерные плитки Иогансона

Карл Эдвард Иогансон (1864–1943) — шведский инженер-механик, занимавшийся проблемой точности измерений. Он разработал набор (рис. 10.3) стандартных мер разных размеров, которые можно объединять в множество комбинаций.

Инженерные задатки у Иогансона проявились уже в детстве: в тринадцатилетнем возрасте он сконструировал паровую машину. Когда ему исполнилось 16 лет, он вслед за старшим братом Арвидом отправился в США (это было его первое пресечение океана,

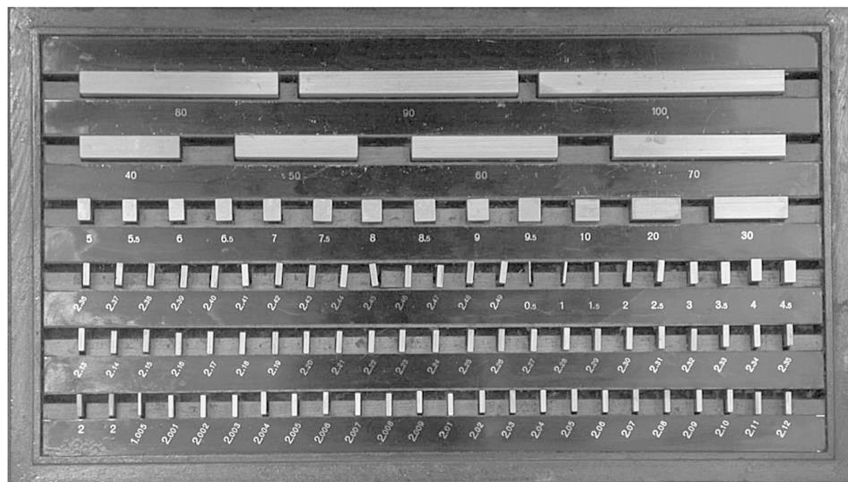


Рис. 10.3. Набор плиток Иогансона

к концу жизни набралось 22 таких путешествия). В 1884 г. Карл вернулся в Швецию и учился в технологической школе Эскильстуна. Через несколько лет он начал работать на оружейном заводе Carl Gustafs и вскоре получил должность начальника контрольной инспекции.

Оружейная промышленность была на тот момент единственной промышленностью, в которой действовали принципы массового производства и в полной мере осуществлялись принципы взаимозаменяемости. Применяемые же измерительные инструменты были недостаточно точными и надежными.

Иогансоном овладела идея создания универсальной стандартной системы измерения не с помощью отдельных калибров, а посредством сборно-разборной системы плиток, выполненных с очень высокой точностью. Окончательно идея оформилась после посещения Иогансоном немецкого оружейного завода Mauser-Werke в 1894 г., где он увидел самые современные на тот момент станки, инструмент и технологию, но при этом система контроля оставалась громоздкой и дорогостоящей: тысячи калибров, разложенных по футлярам, только убедили Иогансона в правильности его идеи.

Легенда гласит, что, возвращаясь домой на поезде, он заснул, а проснувшись, уже ясно представлял, что и как надо делать. Работу взял на дом, так как, во-первых, на заводе на тот момент не было шлифовальных станков, точность которых бы удовлетворила Иогансона, во-вторых, он заботился о сохранении секрета производства.



Рис. 10.4. Доводочный станок Иогансона на основе швейной машинки

Для обработки плиток ему пришлось изменить конструкцию швейной машинки жены, установив на нее шлифовальное чугунное колесо (рис. 10.4).

Иогансон подключил к работе для доводки стальных блоков жену, пока был на работе. Для измерений размеров блоков с очень высокой точностью Иогансон создал измерительный прибор, конструкцию которого держал в тайне. До сих пор достоверно неизвестно, как ему удалось проводить такие точные измерения. Когда в 1907 г. группа ученых во главе с профессором Американского национального бюро стандартов провели исследование точности блоков, был сделан вывод: размеры плиток имели отклонения 0,05...0,10 мкм, а шероховатость и отклонение от плоскостности их исполнительных поверхностей находилась в диапазоне 0,004...0,008 мкм или в пределах 4...8 нанометров.

Благодаря высокой точности изготовления и малой шероховатости измерительных поверхностей несколько плиток Иогансона, притертых друг к другу, слипаются между собой (рис. 10.5), что позволяет проводить их притирочную самопроверку (рис. 10.6).

Первый набор плиток был изготовлен Иогансоном в 1897 году.

Г. Форд, налаживая массовое производство машин, задался целью обеспечить полную взаимозаменяемость деталей и узлов. Чтобы можно было детали и узлы изготавливать на разных за-

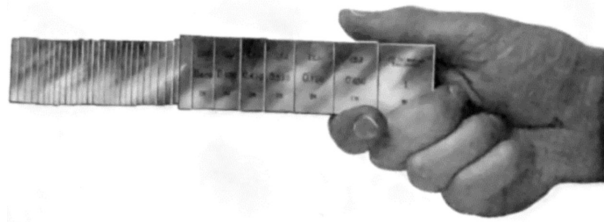


Рис. 10.5. 36 плиток удерживаются вместе после притирки

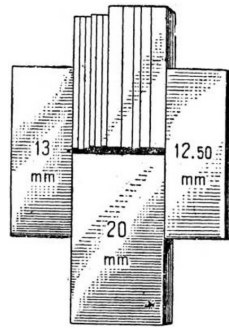


Рис. 10.6. Притирочная самоповерка

водах, а производить сборку автомобилей там, где они должны быть проданы, требовалась точность изготовления деталей часто до 3 мкм.

Столкнувшись с тяжелой послевоенной депрессией начала 1920-х гг., в целях спасения своего бизнеса Иогансон начинает тесное сотрудничество с Г. Фордом. Американский филиал помог сохранить дело жизни Иогансона. Г. Форд уже давно пользовался изобретением Иогансона, а к лету 1923 г. купил его компанию и технологию обработки измерительных плиток, после чего производство измерительных плиток было размещено в Детройте.

10.3. Развитие концепции взаимозаменяемости

Джозефу Витворту принадлежит изобретение первой измерительной машины; он ввел в практику машиностроения измерительные калибры и добился возможности измерять обрабатываемые поверхности с точностью до сотых, а позже и до тысячных долей миллиметра. Калибры Витворта, допускавшие точность пригонки машинных деталей порядка одной десятитысячной доли дюйма, составляли уже в 1880–1890-х гг. неотъемлемую принадлежность каждого крупного машиностроительного завода в Европе и США. В последние годы жизни Витворта его предприятие могло изготавливать измерительные машины, обеспечивавшие точность до одной миллионной доли дюйма. На заводе Витворта были впервые реализованы принципы стандартизации и взаимозаменяемости резьбы на винтах, нашедшие впоследствии широчайшее применение в машиностроении и ставшие основой создания унифицированных и стандартных деталей и узлов машин. Изготовление

многочисленных деталей и частей машинного оборудования на специализированных и высокопроизводительных металлорежущих станках с соблюдением методов точных измерений и концепции взаимозаменяемости деталей подготовило техническую базу для перехода машиностроения к серийному и массовому производству изделий.

Согласно концепции взаимозаменяемости [30], размер конкретной детали, полученный измерением, называют *действительным*. На чертежах указывают *номинальный* размер, относительно которого задают *верхнее и нижнее предельные отклонения* размеров. Значения предельных отклонений могут быть как положительными, так и отрицательными.

Номинальный размер сопрягаемых поверхностей, образующих подвижное или неподвижное соединение, является общим. Для обозначения охватываемых поверхностей (не обязательно цилиндрических) применяют термин *отверстие*, а охватываемых — *вал*. Верхние предельные отклонения размеров отверстия и вала обозначают соответственно буквами ES и es, а нижние — буквами EI и ei. Разность верхнего и нижнего предельных отклонений размеров отверстия и вала называют допусками отверстия T_D и вала T_d :

$$T_D = ES - EI; T_d = es - ei. \quad (10.1)$$

Допуски всегда положительны.

При графическом изображении (рис. 10.7) положительное предельное отклонение размера откладывают вверх, а отрицательное — вниз относительно нулевой линии. Поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями, называют *полем допуска* и изображают графически в виде прямоугольника. При расположении поля допуска отверстия под полем допуска вала образуется *посадка с натягом*, если же поля допусков расположены наоборот (см. рис. 10.7) — *посадка с зазором*, в случае перекрытия полей допусков отверстия и вала посадку называют *переходной*.

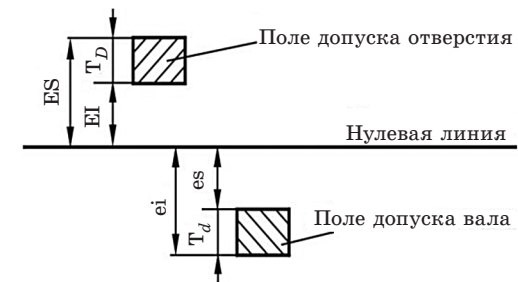


Рис. 10.7. Поля допусков