

Джеймс Гордон

**Почему мы не проваливаемся
сквозь пол**

В мире науки и техники

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
Г68

Г68 **Гордон Д.Э.**
Почему мы не проваливаемся сквозь пол: В мире науки и техники / Джеймс
Гордон – М.: Книга по Требованию, 2024. – 272 с.

ISBN 978-5-458-50518-5

Еще в первые десятилетия нашего века ответ на вопросы о свойствах материалов искали в эксперименте. И лишь последние 40 лет ученые, специалисты в области материаловедения, стали серьезно изучать строение материалов, убедившись, что их свойства зависят от совершенства в расположении атомов. Обо всем этом живо и с юмором рассказывает автор книги профессор университета в Рединге (Великобритания) Дж. Гордон. Книга рассчитана не только на школьников и студентов, но и на тех, кого по роду работы интересует поведение современных материалов и прочность конструкций.

ISBN 978-5-458-50518-5

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2024

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, кляксы, 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 первозданном 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.

Предлагаемая советскому читателю книга профессора Гордона, пожалуй, единственная в своем роде. Она написана совершенно популярно, для самого широкого круга читателей, но ее прочтет с интересом и специалист, во всяком случае автор предисловия читал ее, как роман, не отрываясь.

Написать популярную книгу о прочности материалов и конструкций очень трудно, эта область науки мало эффектна, в ней нет таких захватывающих идей и впечатляющих открытий, которые поражают воображение каждого. Когда на воздушной трассе появляется новый реактивный самолет, когда на Луну или одну из планет отправляется космический корабль, это понятно и интересно всем, но мало кто представляет себе, что великолепные технические достижения последних лет в значительной мере связаны с преодолением основной трудности — сделать конструкцию достаточно прочной. Это относится не только к новой технике. Человечество было вынуждено решать проблему прочности в течение всей истории своего существования, но делалось это на ощупь, эмпирически. Если библейское предание о вавилонской башне не лишено исторической достоверности, неуспеху древних строителей способствовало совсем не смешение языков, просто слишком высокое сооружение развалилось в процессе постройки под действием собственного веса.

Опыт строительства прочных сооружений накапливался веками, притом дорогой ценой. Шедевры архитектуры прошлых эпох восхищают нас и сейчас как памятники человеческого гения, но история не сохранила памяти о бесчисленных неудачах.

В наше время учение о прочности — это большая и разветвленная наука о свойствах материалов и принципах их создания, с одной стороны, и о рациональном использовании материала в конструкции, с другой. Эти две стороны неразрывно связаны между собой, и сейчас мы отчетливо понимаем, что для дальнейшего прогресса

в создании прочных материалов и прочных конструкций необходимо объединение ученых разных специальностей — химиков, физиков и механиков. Необходима общая точка зрения, объединяющая взгляды представителей различных областей науки.

Следует отметить, что британская научная школа внесла большой вклад как в теорию прочности материалов и конструкций, так и в практику их создания. Британские физики сумели соединить высокий теоретический уровень с пониманием реальных задач и четкой прикладной направленностью исследований.

Профессор Гордон — крупный ученый, воспитанный в традициях этой школы. Он был одним из пионеров применения пластиков в авиастроении, много и успешно работал над созданием высокопрочных нитевидных кристаллов — усов. Книга в значительной мере отражает личные взгляды и пристрастия автора, о чем он предупреждает в предисловии. Она субъективна в лучшем смысле этого слова, при чтении книги у специалиста возникает желание спорить с профессором Гордоном по многим вопросам, но в предисловии к переводу этого делать нельзя: всякая дискуссия предусматривает продолжение диалога.

В английском издании книги имеется краткая биографическая справка, в ней сообщаются сведения об авторе, которые, казалось бы, не имеют непосредственного отношения к делу. В частности, там говорится, что в свободное время Дж. Гордон занимается управлением яхтой (это традиционно), фотографией, лыжами и греческим языком (совсем нетрадиционно). Последнее увлечение наложило отпечаток и на предлагаемую книгу: профессор Гордон свободно оперирует знаниями мифологии и античной истории, но главное состоит в том, что за страницами книги виден живой и мыслящий человек с широким кругом идей и интересов. Причем обсуждение чисто специальных вопросов чередуется у него с размышлениями общего характера.

Последняя глава книги названа «Материалы будущего». За три года, прошедшие со дня появления английского издания, произошло многое. Нитевидные кристаллы по существу не вышли за стены лабораторий, пока еще не удалось найти способов промышленного производства усов в достаточных количествах и реализация

их высокой прочности по-прежнему встречает трудности. Зато непрерывные высокопрочные и высокомодульные волокна, а именно волокна бора и углерода, уже выпускаются промышленностью. Пока они еще очень дороги, стоимость волокон бора и углерода примерно одинакова, но по оценке большинства специалистов при усовершенствовании технологии стоимость массового производства угольных волокон будет существенно снижена.

Уже сейчас из углепластиков изготавливаются части самолетов и реактивных двигателей. По прогнозам зарубежной печати за счет применения углепластиков вес транспортного самолета может быть уменьшен за 4—5 лет на 20% и за 10—15 лет на 50%.

В авиации и реактивной технике снижение веса особенно необходимо и покупается любой ценой. Но с расширением производства стоимость новых материалов будет снижаться и они найдут применение не только в воздухе, но также на земле и на воде, в конструкциях автомобилей, судов, в химической аппаратуре, в строительстве.

Энтузиасты утверждают, что мы стоим на пороге новой технической революции того же масштаба, что и промышленная революция начала прошлого столетия, так красочно описанная Гордоном. Скептики предпочитают термин «эволюция» и дают более скромную оценку открывающимся перспективам. Жизнь покажет, сколь глубоки будут технические, а возможно, и социальные последствия появления новых высокопрочных материалов, но ясно одно: новые материалы жизненно необходимы для человечества, поиски этих новых материалов и новых принципов конструирования — увлекательная и благородная задача, которой стоит посвятить жизнь. Хочется надеяться, что эта книга поможет некоторым молодым людям определить свой жизненный путь.

Академик Ю. Работнов

Кто бы ни взялся писать книгу, посвященную столь обширной области знаний, как наука о прочности материалов, он всегда будет чувствовать, что специалисты найдут в такой книге много ошибок, упрощений и просто невежества. Такая книга непременно явится отражением авторской индивидуальности, и в первую очередь это коснется отбора материала. Я писал о том, что интересовало меня в то или иное время. Надеюсь, меня за это не осудят. Ведь не мог я писать о легированных сталях, например, или титане: есть люди, которые сделают это гораздо лучше меня.

Наука о материалах и теория упругости считаются довольно математизированными дисциплинами. Однако я опустил всю математику, за исключением совершенно элементарной алгебры, которая доступна каждому.

Дж. Гордон

Новая наука о прочных материалах, или как задавать трудные вопросы

Какую пищу нашему уму дает созерцание сил сцепления! Как много новых явлений открывается здесь! Именно эти силы обеспечивают прочность всего того, что сооружаем мы на земле, используя железо, камень и другие прочные материалы. И только подумайте, что все наши конструкции,— взять хотя бы «Грейт Истерн»*, размеры которого и мощь, кажется, лежат за пределами человеческого воображения,— существуют постольку, поскольку существуют силы сцепления.

М. ФАРАДЕЙ.
«О различных силах природы»**

Почему ломаются вещи? Почему вообще материалы обладают прочностью? Почему одни твердые тела прочнее других? Почему сталь вязкая, а стекло — хрупкое? Почему древесина расщепляется? Что означают такие понятия, как прочность, вязкость, хрупкость? Использованы ли все резервы прочности, скрытые в материалах? Можно ли улучшить существующие типы материалов и создать совершенно новые, отличные от них, которые

* «Грейт Истерн» — судно, построенное знаменитым английским инженером Брюнелем в середине XIX века. Во времена Фарадея оно было непревзойденным по своим размерам (водоизмещение 27 000 т). — Прим. перев.

** Эпиграф взят из работы М. Фарадея «On the various forces of Nature», которая была издана на русском языке под названием «Силы материи и их взаимоотношения» (М., Государственное антирелигиозное издательство, 1940). Настоящий перевод отличается от изданного. — Прим. перев.

были бы намного прочнее? Если да, то каким образом это сделать и как они будут выглядеть? Если мы в самом деле будем располагать лучшими материалами, то как и где их следует применять?

Фарадея в последние годы его жизни стали занимать некоторые из этих вопросов, но ответить на них он не смог, да, признаться, и мы лишь совсем недавно оказались в состоянии это сделать. Однако уже самой постановкой вопроса Фарадей значительно опередил свое время; впоследствии еще долгое время исследования прочности и сил сцепления не были в чести у ученых.

Эта книга рассказывает о том, как мы пришли к пониманию природы прочности материалов, как связаны между собой прочностные свойства металлов, древесины, керамики, стекла, костей, как эти материалы ведут себя в различных конструкциях — станках, кораблях, самолетах, зданиях, мостах.

Новая наука о материалах очень важна, потому что все наши технические достижения всегда были ограничены недостаточной прочностью материалов. И если еще совсем недавно человек принимал материалы как нечто ниспосланное свыше, то сегодня мы можем не только понять характер поведения материалов, но и найти способы улучшения их свойств. Уже видны пути получения несравненно лучших материалов, не похожих на существующие. Они откроют инженерам совершенно новые возможности.

Металлы и неметаллы

В технике всегда существовало деление на металлы и неметаллы, и, хотя такие мастера, как Брюнель, одинаково умело использовали и те и другие, большинство инженеров по традиции становились «металлистами» или «неметаллистами». Причина такого деления лежит в резком различии свойств металлов и неметаллов — мы скоро увидим, в чем здесь дело, — и, следовательно, путей их использования. Однако я склонен думать, что определенную роль в выборе «своего» материала играют характеры людей: металлисты представляются мне людьми практическими, земными, они не выносят того, что им кажется бессмысленным, а неметаллисты, вероятно, более лиричны, богаче наделены воображением.

Возможно, мы не должны делать особых выводов из самого факта такого разделения, но оно так или иначе проходит через всю историю техники. В нашей книге мы проследим развитие этих двух традиционных направлений в свете современной науки о материалах и попытаемся выделить проблемы, которые в свое время требовали решения. Мы постараемся понять, почему произошли эти перемены.

На протяжении XIX века цены на железо и сталь снизились в 10 раз, что одновременно с улучшением их качества явилось весьма важным событием в развитии техники, а может быть, даже наиболее важным историческим событием. Во всяком случае, железо и сталь пришли особенно по душе мастерам времен королевы Виктории, да и наша современная техника зиждется в основном на металлах. Однако металлам не принадлежит монополия на прочность. Порой лучшими сочетаниями удельного веса и прочности обладают не металлы, а самые прочные из известных веществ — недавно полученные нитевидные кристаллы (усы) углерода и окиси алюминия.

Тенденции развития материаловедения сейчас таковы, что, весьма вероятно, скоро мы будем располагать конструкционными материалами, которые по своей структуре гораздо больше напоминают древесину или кость, чем металлы и сплавы, хорошо известные нашим инженерам*. Это не значит, что мы вернемся к царству резьбы по дереву и плотничьего мастерства или что металлы будут вытеснены какими-то другими материалами в ближайшем будущем. Конечно, нет. Я хочу подчеркнуть лишь, что это делает уместным изучение всей истории применения прочных материалов, как металлических, так и неметаллических. Хотя новые технологические процессы во многом будут довольно сложными, мы, быть может, вернемся к терпеливой скромности корпевшего над своим материалом ремесленника, которая ныне на наших предприятиях вовсе забыта. Это привело бы к большей занятости и, возможно, как-то компенсировало бы разного рода индустриальные уродства. Если так случится, то человечество окажется только в выигрыше.

* См., например, книгу A. Kelly, *Strong Solids*, Oxford, 1966, а также гл. 10 настоящей книги.

Отправной точкой, которая поможет нам разобраться в истории и некоторых областях применения конструкционных материалов, кажущихся наиболее важными в социальном и техническом отношениях, послужат современные представления о прочности материалов. Выбор объектов исследования будет в известных пределах произвольным. Я не касался некоторых важных материалов, например алюминия, если они не иллюстрировали какого-либо интересного принципа — *l'art d'епиуеуr consiste à tout dire* *.

Что такое материаловедение

Прочность даже самого крупного сооружения в какой-то мере зависит от химических и физических процессов, которые происходят на молекулярном уровне. Поэтому, говоря о материалах, нам придется оперировать физическими величинами, огромными и совершенно ничтожными, переходить от химических представлений к чисто техническим, совершать скачки из одной области науки в другую: материаловедение, выражаясь современным языком, находится на стыке наук.

Стоит лишь задуматься о механических свойствах твердого тела, как становится ясным, что какие-то представления о поведении материалов есть у каждого из нас, но далеко не всегда мы можем понять, почему материалы ведут себя именно так, а не иначе. Правда, на вопрос «почему» ответить всегда сложнее. Однако, прежде чем доискиваться до причин какого-либо явления, его следует описать — точно и объективно. Это дело инженеров. Если дилетант может довольствоваться смутными представлениями о том, как деформируются и разрушаются твердые тела, то инженер обязан быть точным, и немало поколений инженеров совершенствовало это описание, стремясь сделать его предельно объективным. Конечно, инженеры часто не отдавали себе отчета в том, почему кусок стали ведет себя так, а кусок бетона — иначе, но и в том, и в другом случаях они проводили измерения и описывали все это в трудночитаемых книгах. Вооруженные знаниями «свойств» материалов, они обыч-

* Искусство наводить скуку состоит в стремлении рассказать обо всем (франц.).

но могут предсказать поведение сложных конструкций, хотя и у них случаются ошибки, и тогда мосты летят в реки, корабли тонут, самолеты разбиваются.

Вся эта премудрость воплощена в теории упругости, определяющей условия, при которых конструкционные материалы воспринимают и передают нагрузки, сопротивляются им. Некоторое понимание всего этого необходимо и для того, чтобы разобраться в проблеме прочности материала. Если отбросить всю математику, основные принципы упругости на первый взгляд, право же, очень просты, но для истинного понимания они на удивление трудны. Причина этого, я думаю, кроется в том, что все мы воспитаны на некоторых инстинктивных знаниях о прочности — не будь этого, мы ломали бы вещи и травмировались гораздо чаще, чем сейчас. И в результате нам кажется, что такого подсознательного понимания вполне достаточно. В конце концов все это оборачивается трудностями, связанными не столько с изучением элементарной теории упругости, сколько с собственными предубеждениями.

Кто сомневается во всем этом, пусть попробует объективно описать разницу между механическими свойствами, например, мела и сыра*. Как правило, инженеру под силу такая задача. Более того, если бы мы захотели построить некое сооружение, используя один из этих материалов, он смог бы предсказать характер его разрушения. Однако объяснить разницу между сыром и мелом нам могут только представители определенных областей науки.

Твердые тела сохраняют свою форму благодаря химическим и физическим связям, существующим между их атомами и молекулами. Любое тело можно вывести из строя несколькими различными путями — механическим разрушением, плавлением или воздействием химическими реагентами. Так как в каждом случае должны быть разорваны какие-то внутренние связи одного типа, можно было бы предположить, что существует некая простая связь между всеми названными формами разрушения, и сегодня, когда о природе межатомных взаимодействий

* Для воспитанного на идиомах английского читателя мел и сыр представляют собой образцовый пример совершенно различных веществ; в английском языке существует выражение as different as chalk is from cheese. — Прим. перев.

химики и физики знают довольно много, им не так уж трудно дать объяснение и прочности, и другим механическим свойствам материалов, так что, по существу, изучение разрушения материалов должно бы стать разделом химии.

В дальнейшем мы увидим, что прочность связана — как этого, конечно, и следовало ожидать — с химическими взаимодействиями, но связь эта косвенная, и обнаружить ее средствами классической химии или физики невозможно. Оказывается, мы не только нуждаемся в интерпретации результатов этих наук средствами классической теории упругости, но нам необходимо ввести еще и такие сравнительно новые и очень важные понятия, как дислокации и концентрация напряжений. В свое время их введению сопротивлялись многие ортодоксы.

До недавних пор наука о прочности материалов несомненно отставала от других дисциплин, которые на первый взгляд кажутся и более трудными и более эффективными. В течение долгого времени мы гораздо лучше были осведомлены о радио или о внутреннем строении звезд, чем о том, что происходит в куске стали. По-моему, причина здесь не столько в крайней сложности предмета, сколько в трудностях, связанных с объединением достаточного числа людей, занятых в различных областях науки, для совместной работы над одной общей проблемой.

Химики, естественно, предпочитают объяснять все свойства веществ на языке химии, но когда они, наконец, разделяются с трудностями, порожденными использованием инженерами иных единиц измерения (например, для энергии), то часто обнаруживают, что рассчитанные ими параметры прочности не только отличаются от истинных на несколько порядков, но даже качественно не имеют ничего общего с результатами экспериментов. После этого они склонны забросить все, утверждая, что предмет и не интересен, и не важен. Отношение физиков к этой проблеме несколько иное, но очень многие из них в течение долгого времени гнались за другим зайцем: надо было разбираться в том, что происходит внутри атома.

Бесспорно, в наши дни совместными усилиями физиков и металловедов удается в удивительных подробностях разгадать происходящие в металлах процессы, по классическому металловедению слишком долго оставалось