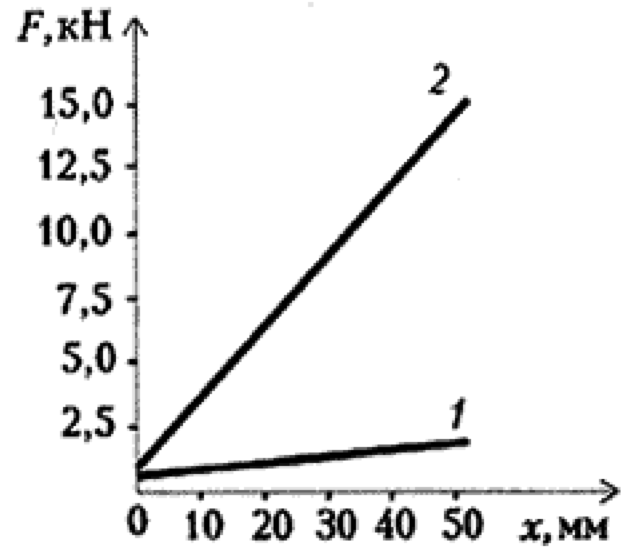

Рис.1. Экспериментальная зависимость силы сопротивления от глубины погружения (1 — ель, 2 — бук)

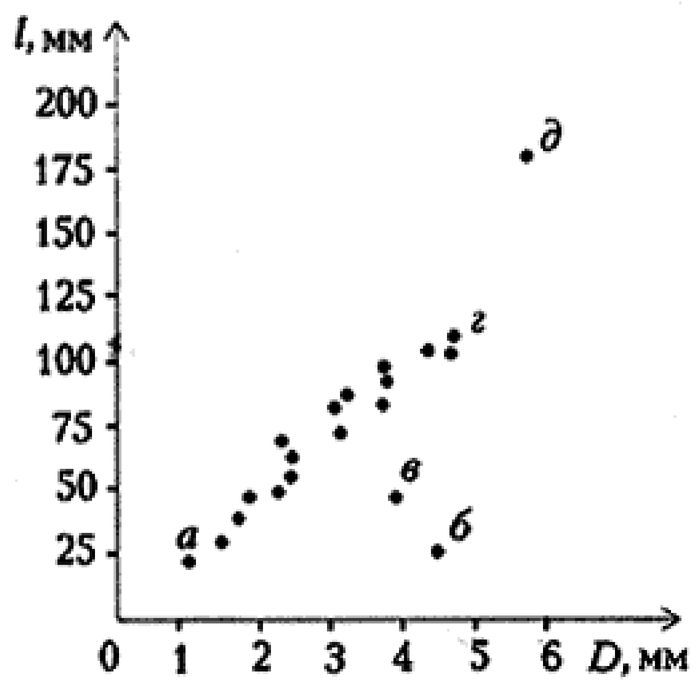

Рис.2. Параметры стандартного набора гвоздей (а — сапожный гвоздь, б — дюбель, в — экспериментальный гвоздь, г — шиферный, д — «двухсотка»)

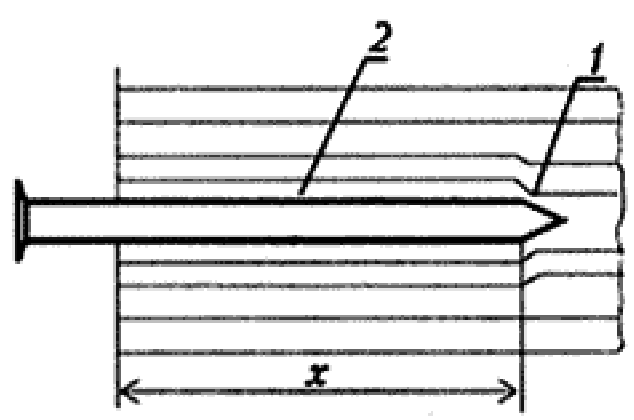

Рис.3. Распределение деформаций в дереве

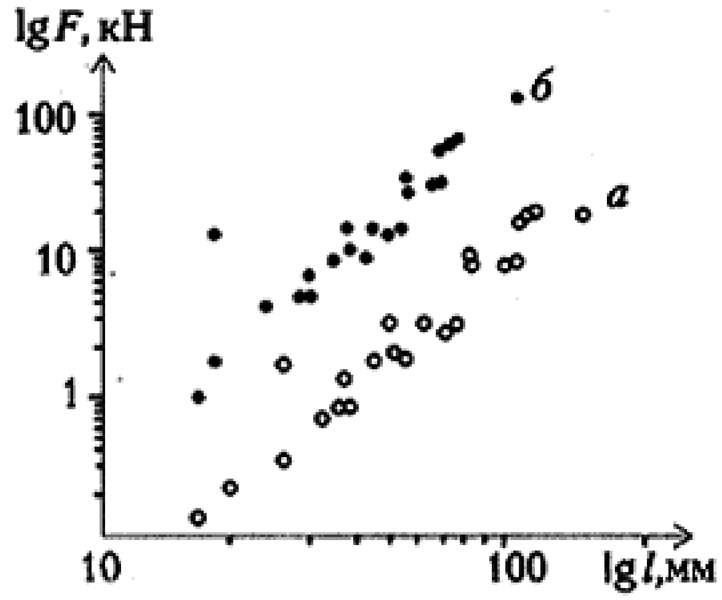

Рис.4. Силы, необходимые для вдавливания гвоздей (а — ель, б — бук)

две области с различным характером распределения напряжений (рис.3). Это, во-первых, область *1* размером порядка R вблизи острия гвоздя. Распределение напряжений здесь достаточно сложно. Однако ясно, что по мере вдавливания гвоздя картина в этой области не меняется. Следовательно, взаимодействие гвоздя с этой областью дает вклад в силу сопротивления, не зависящий от x:

$$F = \sigma_{эф} S,$$

где $\sigma_{эф}$ — некоторое характерное (эффективное) напряжение, S — площадь поперечного сечения гвоздя. (Отметим, что в опытах наблюдалось явление «застоя», которое мы связываем с периодическим образованием трещины, проходящей от острия гвоздя в глубь дерева.)

Основная часть гвоздя — область *2* — окружена равномерно сжатым деревом, обжимающим гвоздь с некоторым постоянным напряжением σ_1. При движении гвоздя возникает сила трения, величина которой прямо пропорциональна боковой поверхности погруженной части гвоздя:

$$F = 2\pi\mu\sigma_1 R x,$$

где μ — коэффициент трения. Таким образом, сила трения является ответственной за линейную часть силы сопротивления.

Итак, с силами, необходимыми для забивания гвоздей, все ясно, и у нас есть все необходимое для проведения теоретического исследования. Полученные экспериментальные данные и записанные формулы позволят вычислить значения любых интересующих нас величин. В качестве примера мы вычислили максимальные значения сил для стандартного набора гвоздей (рис.4). Оказывается, чтобы полностью вдавить в бук великан-«двухсотку», необходимо приложить силу 78 кН (это больше, чем вес слона), а для малютки-«двадцатки» достаточно всего 1,5 кН.

Итак, приступаем к теоретическому исследованию. Что же может помешать вбить гвоздь одним ударом?

Аргументы «за» и «против»

Первый аргумент «против», который приходит на ум при взгляде на полученные числовые значения, формулируется очень просто: «силы не хватит». Действительно, силы великоваты для того, чтобы вдавить гвоздь в дерево просто рукой. Но ведь у нас в руке молоток. А какой «выигрыш в силе» он дает? (Каждый ли с ходу ответит на этот вопрос?)

Давайте разберемся с возможностями молотка. Здесь удобно описать ситуацию формально. Тело (молоток), имеющее кинетическую энергию E_k, налетает на пружину (гвоздь) жесткостью k. Чему будет равно максимальное значение силы упругости при сжатии пружины? Узнали? Это известная школьная задача. Ее ответ:

$$F = \sqrt{2kE_k}\,.$$

Молоток очень «умный» инструмент — чем жестче предмет, по которому он бьет, тем больше сила. Эта формула отвечает и на массу других вопросов: почему удары по мягким частям тела менее болезненны, чем по твердым, почему трудно вбить гвоздь в незакрепленную доску (она просто «пружинит») и т.д.

Оценим с помощью этой формулы силы, возникающие при ударе молотком по эталонному гвоздю. Жесткость гвоздя легко определить с помощью известной формулы

$$k = E\frac{S}{l_0},$$

где $E = 2\cdot10^{11}$ Па — модуль Юнга стали. Что касается кинетической энергии молотка, то, разумеется, она зависит от «силы удара». Давайте для оценок рассмотрим два случая: удар «средней силы» и удар «со всего плеча». За «удар средней силы» примем удар, эквивалентный падению молотка (кувалды) с высоты 1 м. Кинетическая энергия для такого удара может быть рассчитана по формуле

$$E_k = mgh.$$

Название «со всего плеча» говорит само за себя. Для оценки энергии в этом случае примем, что по порядку величины она совпадает с той максимальной энергией, которую мы способны сообщить телу при бросании. При таком допущении нам достаточно прикинуть, на какое максимальное расстояние мы способны кинуть молоток и толкнуть кувалду. Максимальная дальность полета тела, брошенного с начальной скоростью v_0 под углом $\alpha = 45°$ к