

Н.Н. Давиденков

**Динамические испытания
металла**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
Н11

Н11 **Н.Н. Давиденков**
Динамические испытания металла / Н.Н. Давиденков – М.: Книга по Требо-
ванию, 2021. – 368 с.

ISBN 978-5-458-60489-5

ISBN 978-5-458-60489-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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 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.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Прогресс техники последних десятилетий характеризуется в числе других особенностей также непрерывным возрастанием скоростей, применяемых в машинах и механизмах. Эта эволюция является следствием общего повышения темпа человеческой деятельности и продиктована чисто экономическими выгодами, связанными с высокими скоростями. Известно, например, что увеличение числа оборотов двигателя приводит к уменьшению его размеров, а следовательно к удешевлению; увеличение скорости совершения перевозок ускоряет оборот капитала, уменьшает расход на проценты и т. п. Однако эти высокие скорости имеют своим следствием то, что механические условия работы элементов машины или сооружения резко изменяются: место спокойной и длительной нагрузки занимают толчки и удары, статика вытесняется динамикой. Соответственно должны быть изменены и требования, применяемые к техническим материалам. И вот возникает новая и обширная глава науки об испытании материалов — глава о динамических, или ударных, испытаниях.

Настоящий труд и представляет собою попытку дать систематическое изложение тех научных данных, которыми в области ударных испытаний мы располагаем до настоящего времени на основании многочисленных работ отдельных исследователей. В классические курсы испытания материалов (Wawrzyniak, Batson a. Hyde, Memmler, Martens и др.) эта глава пока еще не включена или, вернее, входит в весьма ограниченном объеме, лишь поверхностно затрагивая глубокую область динамических процессов; между тем журнальная литература последних десятилетий так богата работами на тему об ударной пробе, что по справедливости настало время для объединения их в одну монографию.

Строго говоря, к области динамических испытаний должна была бы быть отнесена также и усталость металлов, поскольку последняя не укладывается в понятие статического действия силы. Однако мы предпочли ограничиться описанием лишь той части явлений усталости, которая относится к повторным нагрузкам высокой скорости, приближающимся к ударным. К этому побуждают нас как общие соображения о различии между статической и ударной усталостью, так и тот факт, что в ближайшее время ожидается появление на русском языке перевода известной монографии об усталости металлов американских исследователей Мооге и Коммерс. Книга указанных авторов, больших знатоков и опытных экспериментаторов в области явлений усталости, наилучшим образом выполняет поставленную задачу, и изложение законов усталости на страницах настоящего труда привело бы в значительной степени лишь к повторению уже сказанного ими.

Наша книга предназначена как для инженеров, соприкасающихся в своей работе с вопросами испытания материалов, так и для студентов вузов, изучающих указанную дисциплину. В последнем случае вместе с „Руководством по испытанию материалов“ О. Вавржиньок'а (1926-27-28) и упомянутой монографией Мооге и Коммерс студенты будут располагать довольно полным изложением на русском языке современного состояния науки об испытании материалов.

Изложение книги предполагает у читателя знакомство как с теорией сопротивления материалов, так и с статическими отделами испытания материалов. На ряду с вопросами чистой методики испытания книга касается также и тех механических свойств металлов, которые выявляются динамическими испытаниями. Однако в отношении последних вопросов автор сознательно не выходил сколько-нибудь значительно за границы круга чисто механических понятий и очень слабо затронул большую область связи механических свойств с микроструктурой, термической обработкой и т. п., считая, что эти вопросы составляют нормальное достояние другой дисциплины — металлографии и должны излагаться, классифицируясь не по методическому, а по материальному признаку.

Современное состояние знаний в области ударных испытаний пока еще таково, что по целому ряду вопросов имеющих фактов слишком мало для того, чтобы могли быть сделаны с уверенностью не подлежащие оспариванию выводы. Однако изложение одних только фактов при всей своей строгости лишило бы книгу значительной доли интереса, а потому автор позволил себе внести в нее элемент субъективности, попытавшись дать по ряду вопросов обобщения, представляющиеся ему наиболее правдоподобными.

В заключение автор считает своим долгом принести глубокую благодарность следующим лицам: Г. П. Зайцеву за просмотр всей рукописи и ее выправление; Н. И. Давиденкову—за помощь в чтении корректуры; инженеру В. П. Кравз-Тарнавскому—за просмотр главы об ударной пробе надрезанных образцов и проф. А. К. Зайцеву—за просмотр главы об износе. Ленотгизу автор выражает свою признательность за удачные заботы о внешней стороне издания и постоянную готовность во всем идти навстречу авторским пожеланиям.

Автор.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стр.

Предисловие	
-----------------------	--

Г л а в а п е р в а я .

УДАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ.

§ 1. Основная величина, определяемая при ударном испытании . .	11
§ 2. Вертикальные разрывные копров	13
§ 3. Теория вертикальных копров	25
§ 4. Меры к исключению ошибки копра	34
§ 5. Упругие деформации при ударе	37
§ 6. Величины динамической работы деформации, удлинения и сужения шейки	42
§ 7. Диаграмма истинных напряжений	50
§ 8. Влияние скорости на результаты статического испытания . . .	54
§ 9. Измерение сил при ударе	63
§ 10. Величина сил при ударе	78
§ 11. Ударная хрупкость при разрыве	93
§ 12. Превращения энергии при ударе	96
§ 13. Допускаемые напряжения при ударных расчетах	111
§ 14. Микроскопическая картина деформации при ударе	112

Г л а в а в т о р а я .

УДАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ НАДРЕЗАННЫХ ОБРАЗЦОВ.

§ 15. Историческая справка	116
§ 16. Маятниковые копры	118
§ 17. Теория маятниковых копров	126
§ 18. Типы образцов	132
§ 19. Ударная вязкость и ее измерение	135
§ 20. Значение ударной пробы надрезанных образцов	139
§ 21. Растяжение образцов с надрезами	143
§ 22. Шейка при растяжении	155
§ 23. Надрезы в изгибаемых образцах	163
§ 24. Механизм ударной хрупкости надрезанных образцов	168
§ 25. Общий характер диаграммы при изгибе надрезанного образца	176
§ 26. Влияние формы надреза	180

	Стр.
§ 27. Влияние ширины образца	183
§ 28. Влияние скорости удара	187
§ 29. Вид поверхности излома	190
§ 30. Влияние температуры на динамические свойства металла	192
§ 31. Практическое проведение ударной пробы	208
§ 32. Ударная проба по Moser'у	210
§ 33. Экспериментальные данные	216
§ 34. Выбор геометрических элементов испытания	224
§ 35. Закон подобия при ударном испытании надрезанных образцов	233
§ 36. Взаимное расхождение получаемых при ударном испытании результатов	288

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

ОСОБЫЕ ВИДЫ УДАРНОГО ИСПЫТАНИЯ.

§ 37. Ударное испытание надрезанных образцов на разрыв	249
§ 38. Ударное испытание на изгиб без надреза	250

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

УДАРНАЯ ТВЕРДОСТЬ.

§ 39. Общие основания	253
---------------------------------	-----

А. МЕТОД ОТПЕЧАТКА.

§ 40. Общая теория	254
§ 41. Экспериментальные данные	263
§ 42. Приборы для ударной шариковой пробы	269

Б. МЕТОД ОТСКАКИВАНИЯ.

§ 43. Общие основания метода	278
§ 44. Склероскоп Шора	283

В. МЕТОД КАЧАНИЯ.

§ 45. Маятник Герберта	289
§ 46. Теория маятника Герберта	293
§ 47. Экспериментальные данные	298

ГЛАВА ПЯТАЯ.

УДАРНАЯ УСТАЛОСТЬ.

§ 48. Машины для испытаний повторными ударами	306
§ 49. Значение испытания повторными ударами	313
§ 50. Число ударов, как характеристика материала	319

	Стр.
§ 51. Динамический предел усталости	323
§ 52. Связь динамического предела усталости с динамическим пре- делом упругости	322

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

ИЗНОС.

§ 53. Виды износа	335
§ 54. Машины для испытания на износ истиранием	336
§ 55. Связь между сопротивлением износу и другими механическими свойствами	343
§ 56. Законы износа	345
§ 57. Износ и структура	349
§ 58. Испытание на повторное смятие	353
Литературный указатель	358
Именной указатель	364

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

УДАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ.

§ 1. Основная величина, определяемая при ударном испытании.

Изучение механических свойств металла при медленно действующих силах осуществляется лучше всего при испытании на разрыв. Ни сжатие образца, которое вообще не доводит пластический материал до разрушения; ни изгиб, вносящий неопределенность в закон распределения напряжений сейчас же за пределом упругости; ни кручение, имеющее тот же недостаток, что и изгиб; ни Бринеллевская проба, дающая лишь одну числовую характеристику, ни один из этих методов испытания не может по богатству даваемых сведений идти в сравнение с простым испытанием на растяжение.

Естественно поэтому, что, переходя к динамическим испытаниям, представлялось бы также наиболее интересным разрывать образцы ударом бабы и строить такие же диаграммы испытания, какие получаются при статическом опыте. Однако на этом пути экспериментатора встречаются большие затруднения, которые проистекают главным образом от двух причин:

а) все обычно применяемые при статических испытаниях способы измерения силы сопротивления образца при переходе к удару сразу же становятся непригодными вследствие появления значительных сил инерции, и

б) не существует надежных способов подвергнуть образец непосредственно продольному удару падающей бабы.

Второе из этих затруднений удастся до некоторой степени обойти применением реверсоров или аналогичных им механических комбинаций — правда, со внесением в картину удара известных неопределенностей, которые трудно исклю-

чить (§ 3). Что же касается первого, то оно при практическом разрешении вопроса приводит к таким сложным конструкциям (§ 9), которые оказываются совершенно непригодными в рядовой лабораторной практике и могут найти свое применение лишь в специальных научных исследованиях.

Естественный выход из затруднительного положения заключается в том, чтобы заменить нахождение функции

$$p = f(\epsilon),$$

(где p — напряжение и ϵ — относительное удлинение) ее интегралом в пределах опыта:

$$A = \int_0^{\epsilon_0} p d\epsilon,$$

который, очевидно, представляет собою работу деформации единичного объема (удельная работа деформации) и, как увидим ниже, сравнительно легко определяется при испытаниях.

Так как при однородном напряженном состоянии работа деформации T рабочего участка образца пропорциональна его объему w , то, найдя последнюю непосредственно из опыта, вычисляют удельную работу по формуле:

$$A = \frac{T}{w}.$$

Удельная работа деформации является мерой энергетической емкости (работоспособности) материала и может служить общей характеристикой его механических качеств. Правда, характеристика эта далеко не полна: так, два металла могут иметь разные временные сопротивления R и разные удлинения i , но одинаковые произведения этих величин, а следовательно и пропорциональные им работы деформации. Однако с этой неполнотой данных ударного испытания приходится уже мириться. Зато, сравнивая удельную работу при статическом и динамическом испытании, мы получаем возможность судить о сравнительной способности испытуемого материала сопротивляться ударам.

Кроме испытаний на ударный разрыв, в технике применяются также испытания на ударное раздробление (очень редко) и ударный изгиб. Последний вид испытания, приме-

ненный к образцам с надрезом, вытеснил в последнее время почти полностью все другие. Однако мы дадим здесь подробное описание испытаний на разрыв не только ради полноты изложения, но и вследствие большого их физического интереса.

§ 2. Вертикальные разрывные копры.

Употребляющиеся на практике разрывные копры строятся почти исключительно с вертикальным падением бабы; устраиваемое иногда разрывное приспособление у маятниковых копров будет описано в другом месте (§ 16).

По конструктивной схеме все копры можно разделить на две основные группы: копры с неподвижным образцом и копры с падающим образцом.

По способу измерения работы деформации копры делятся на следующие типы: копры с измерением скоростей бабы (механическим или электрическим способом) и копры с непосредственным измерением остаточной живой силы по производимой ею работе (например, работе деформации — крешерный способ, или работе поднятия груза — новый энергометр Амслера).

Мы дадим здесь описание нескольких наиболее типичных вертикальных копров.

А. Копер Амслера (старая модель). Общий вид основной части копра представлен на рис. 1.

Между двумя направляющими стрелами движутся с незначительным трением две бабы: верхняя, или контр-баба А,

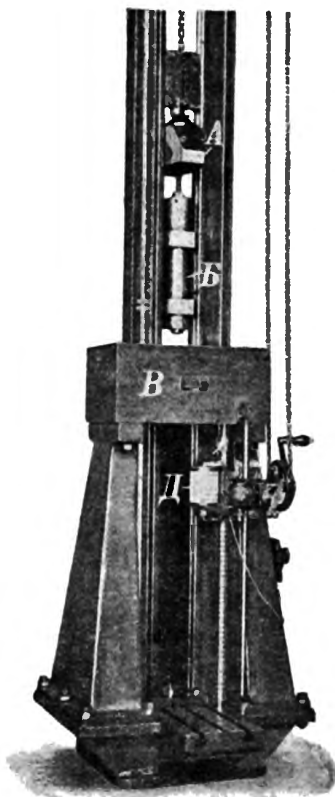


Рис. 1. Вертикальный копер Амслера (старая модель).

с двумя боковыми выступами, и нижняя B , цилиндрическая. Испытуемый образец закладывается между ними таким образом, что при его помощи нижняя баба оказывается подвешенной к верхней. Посредством цепи, перекинутой через блок, обе бабы поднимаются на заданную высоту, отсчитываемую по разделенной ленте, снабженной указателем. Дергая спусковую бечевку, заставляют обе бабы падать, пока верхняя баба, ударившись своими выступами о массивную наковальню B , в которой сделан прорез только для прохода бабы B , внезапно не остановится. Тогда нижняя баба, продолжая по инерции свое движение, разрывает образец. Таким образом, по конструктивной схеме копер этот принадлежит к числу копров с падающим образцом.

При копре имеется набор в несколько баб (25, 50 и 100 кг); наибольшая высота падения достигает 4 м. Копер имеет специальные бабы для опытов на сжатие и излом надрезанных образцов; однако основным видом испытания остается для него разрывное.

Измерение работы деформации образца производится посредством измерения скорости рабочей бабы до и после удара, что осуществляется в свою очередь механическим путем. Именно, рядом с падающей бабой укреплен на станине приводимый электромотором в равномерное вращение барабан D с накрученной на него бумагой. Карандаш, прикрепленный к бабе, чертит на бумаге диаграмму падения бабы (аналогично известному барабану Морена), из которой нетрудно определить скорость бабы до и после разрыва образца, если известна скорость вращения барабана¹⁾. Последняя определяется при помощи акустического счетчика, дающего хорошо слышимый звук после каждых 50 или 100 оборотов, и секундомера.

По известным скоростям рабочей бабы (массы m) до (v_1) и после (v_2) разрыва расход энергии на деформацию образца определяется по формуле:

$$T = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2).$$

К числу преимуществ копра Амслера относится возможность точно измерить скорость бабы до удара; в других конструкциях копров этим измерением обыкновенно прене-