

Г. Закс

Практическое металловедение
Часть 2. Пластическое деформирование

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 66.0
ББК 35
Г11

Г11 **Г. Закс**
Практическое металловедение: Часть 2. Пластическое деформирование / Г. Закс – М.: Книга по Требованию, 2023. – 243 с.

ISBN 978-5-458-43314-3

ISBN 978-5-458-43314-3

© 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.

граничить температурные области горячего и холодного деформирования. Поэтому считают возможным рассматривать деформирование одного и того же материала при одной и той же температуре в одном случае как холодное деформирование, в другом — как горячее. Так, о прокатке цинка при комнатной температуре говорят обычно, как о холодной прокатке. Поведение же цинка в условиях длительного нагружения, например в условиях работы в качестве кровельного материала, ничем не отличается от поведения материала при горячем деформировании.

§ 2. Изменения свойств при холодном деформировании

При холодном деформировании изменяются не только механические, но также и другие свойства материала. Однако по степени изменения механические свойства далеко превосходят все другие, если не иметь в виду еще магнитных свойств ферромагнитных металлов.

В то время как ранее полагали, что все изменения свойств непосредственно связаны с упрочнением, многочисленные исследования последних десятилетий показали со всей достоверностью, что различные свойства могут изменяться при этом по-разному. В настоящее время можно скорее исходить из представления, что каждому отдельному свойству отвечают свои законы изменения. Если такое утверждение в действительности и не совсем правильно, то во всяком случае не представляется, например, возможным по определенной величине упрочнения, которое получил материал при обработке, выразить численно изменения других его свойств. Всякая попытка установить однозначную связь в этом смысле может быть признана безрезультатной.

Напротив, различные механические свойства в общем связаны между собой таким образом, что, например, повышение прочности при холодном деформировании всегда сопровождается одновременным же понижением удлинения. Все же и эти соотношения, как показывают более точные исследования, не подчиняются определенной закономерности, и изменения прочности и других механических свойств не являются еще чувствительной характеристикой для суждения о соответствующем изменении обрабатываемости материала. Существуют, возможно, некоторые свойства, например число загибов, которые реагируют на более тонкие изменения; однако в настоящее время нет еще достаточно обоснованных данных, которые позволили бы сказать что-либо достоверное по этому вопросу.

§ 3. Испытание на прочность и суждение о качестве материала

Суждение о материале по механическим свойствам представляется особенно сложным еще и потому, что они устанавливаются самым различным образом. Если эти свойства и могут быть объединены в отдельные группы по тому общему признаку, что они приводят к достаточно сходным заключениям о поведении материала, однако ряд тонкостей, о которых мы уже говорили выше, ставят под вопрос возможность суждения о материале на основании одного лишь испытания на прочность.

Взаимная связь между прочностью на разрыв и прочностью на изгиб несомненно очень велика. тем более, что в обоих случаях отказ в работе материала вызывается одинаковыми растягивающими напряжениями. Однако поведение различных материалов при обоих видах испытания отнюдь не всегда одинаково. Если к тому же привлечь для сравнения испытания на ударную вязкость, то ведь общеизвестно, что для стали результаты при этом оказываются часто совершенно неожиданными, если известны только свойства, полученные при обычном статическом испытании. Если в настоящее время мы и можем с известным правом допустить, что объяснения этому следует искать в сдвиге температурных и скоростных соотношений¹, то это вовсе еще не решает вопроса: в самом деле, ударное испытание характеризует материал в каком-то ином, особом отношении, что при других испытаниях устанавливается лишь при весьма обстоятельном эксперименте². Вопрос о том, какое значение имеет ударная вязкость стали и является ли необходимым вводить ударное испытание как дополнительное при приемке для некоторых целей, в настоящее время стал даже предметом оживленной дискуссии. Особо важным аргументом выдвигаются, с одной стороны, неясность и ненадежность этой характеристики и связанные с этим испытанием дополнительные накладные расходы на производство, с другой стороны, указывают на незаметность этих испытаний, считая, что они обнаруживают какие-то специальные свойства материала.

Несомненно, что ряд испытаний какого-либо материала или элемента конструкции говорят больше, нежели одно испытание. Однако ценность дополнительных испытаний, как правило, быстро уменьшается с их числом, если это не относится прямо к производственному испытанию: иначе говоря, умножая число применяемых методов испытаний, мы только медленно, асимптотически приближаемся к ожидаемой предельной надежности результатов. Многообразие методов испытаний все же исчезающе мало по сравнению с многообразием практически претерпеваемых материалом нагрузок. Ни одно даже самое основательное предварительное испытание не может устранить полностью наступления возможных аварий. К тому же слишком большое число схематических методов испытаний имеет еще и тот недостаток с чисто психологической стороны, что ослабляет чувство персональной ответственности. Более надежное суждение о поведении материала, а вместе с тем и большая уверенность в результатах приобретаются обычно в том случае, если дополнительно проводятся несколько хорошо продуманных, приспособленных к специальным условиям применения ориентировочных испытаний.

§ 4. Изменения механических свойств при холодном деформировании

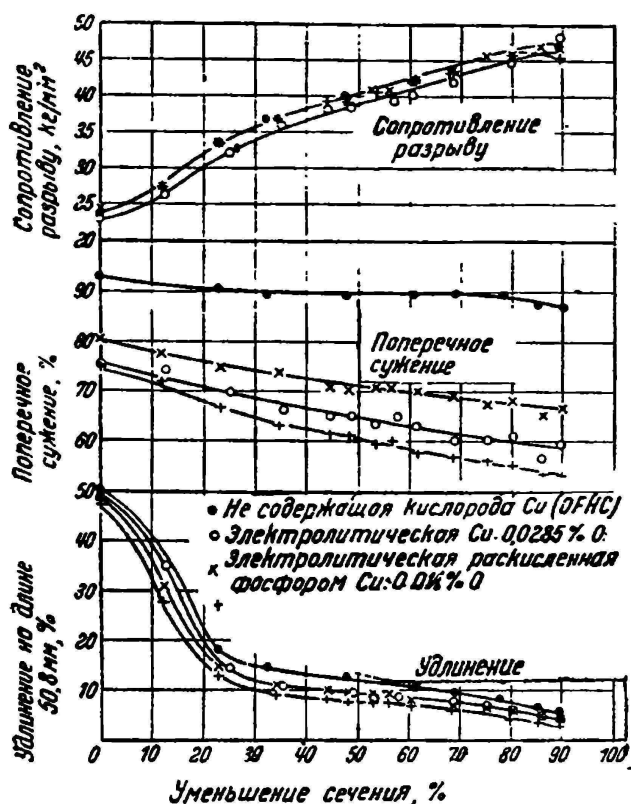
Изменения механических свойств, вызываемые холодным деформированием, очень сходны для большинства материалов, как показано в ряде фигур, приведенных в тексте. Они состоят в том, что одни

¹ Cp. P. Goerens u. R. Mailänder: Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1927 Heft 295 S. 18—34.

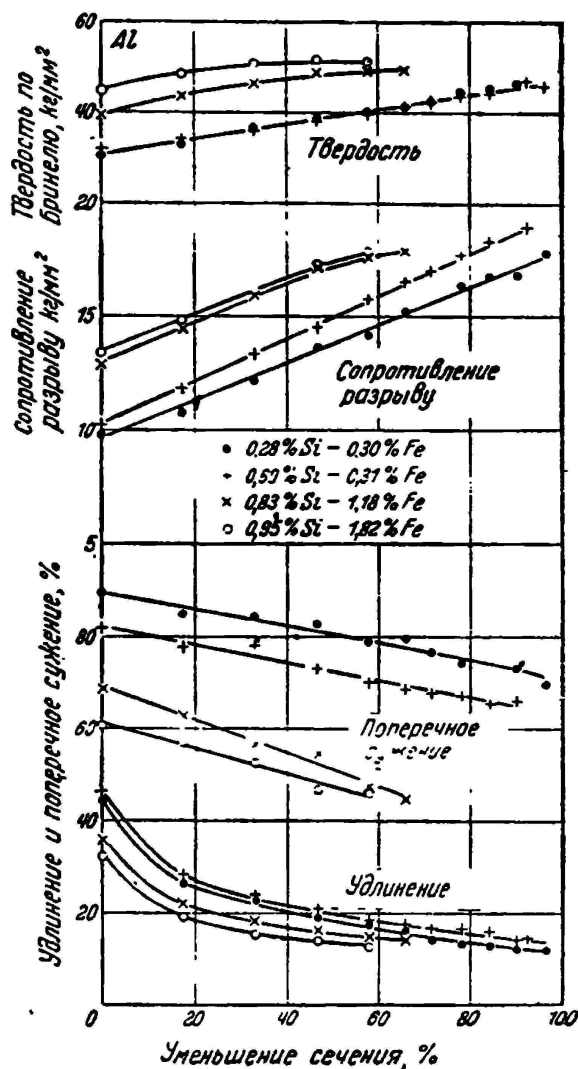
² Cp. W. Kuntze: Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 2 (1928/29) S. 109—117; Metallwirtsch. Bd. 8 (1929) S. 992—998, 1011—1017; Z. VDI, Bd. 74 (1930) S. 78—82.

свойства (фиг. 1 и след.), которые объединяются общим понятием — сопротивление деформированию, как то: предел упругости и предел текучести, сопротивление разрыву, твердость и т. д., возрастают с увеличением степени деформации, в то время как другие — удлинение при испытании на растяжение и глубина продавливания по Эриксену — падают.

Не совсем ясен, напротив, характер изменения поперечного сужения при испытании на растяжение, которое, как часто наблюдается, повышается при малых степенях холодной деформации (ср. фиг. 17)¹. Так как эту характеристику часто считают особо надежным критерием способности материала к деформированию, то, казалось бы, малые деформации, обычные при правке и прогладке путем растяжения и прокатки,



Фиг. 1. Влияние волочения на механические свойства различных сортов меди (по Уеботеру, Христи и Пратту).



Фиг. 2. Влияние волочения на механические свойства горячекатаного алюминия различной чистоты (по Райнхардту).

ни в какой степени не должны ухудшать материал в отношении его способности к формоизменению, а скорее улучшать его, хотя с этим и связано некоторое падение удлинения. Подтверждается ли это в действительности, например при изгибе или скручивании, до сих пор,

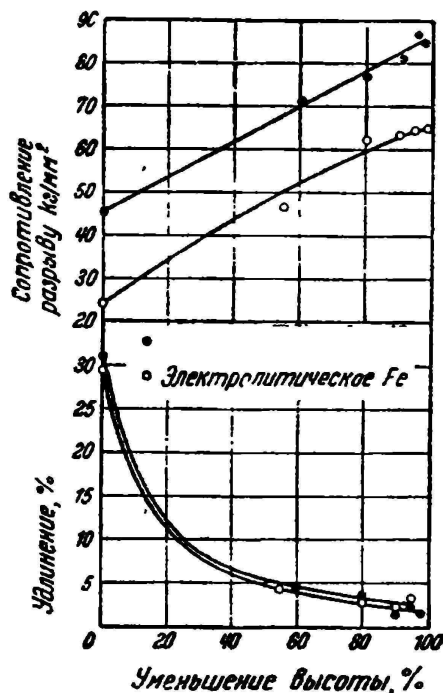
¹ Stribeck, R.: Z. VDI Bd. 53 (1909) S. 241—250; Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1910 Heft 85 S. 33—51. Linicus, W. u. G. Sachs: Mitt. dtsch. Mat.-Prüf.-Anst. Sonderheft 16 (spanlose Formung) (1931) S. 38—67.

повидимому, не установлено. Можно, однако, с надежностью принять, что малые деформации в этом отношении по крайней мере безвредны. Более подробно это будет разобрано в § 9.

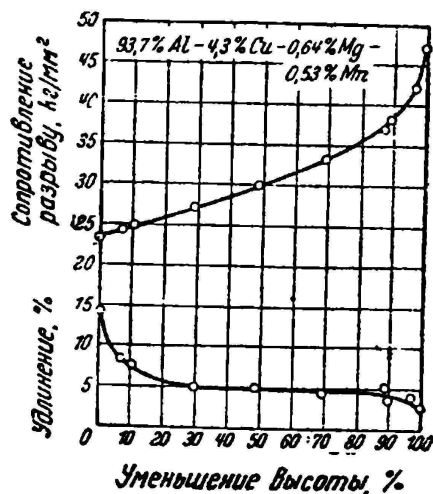
В соответствии с изменением поперечного сужения находится также установленное Кунце возрастание сопротивления разрыву образцов с острым запилем при холодном деформировании¹.

В отдельных случаях наблюдается также, что сопротивление разрыву и твердость алюминия, меди, латуни и т. д. по достижении максимума² с дальнейшим увеличением степени холодной деформации уменьшаются. Так как это противоречит другим данным, относящимся к тем же материалам (ср. фиг. 1 и 2), и упомянутые явления характерны только для легкоплавких материалов (ср. §§ 66 и 67), необходимо

принять, что в этих случаях температура в процессе деформирования настолько повышалась вследствие теплового эффекта, что могло наступить некоторое разупрочнение.



Фиг. 3. Влияние прокатки на сопротивление разрыву и удлинение никеля и железа (по Керберу и Гоффу).



Фиг. 4. Влияние прокатки на сопротивление разрыву и удлинение дуралюмина (по Бахмистеву).

§ 5. Упрочнение различных материалов

Различные материалы неодинаково упрочняются при деформировании, как показывает фиг. 1 и след. Кривые свойств, характеризующие сопротивление деформированию, т. е. кривые упрочнения, обнаруживают для каждого материала характерный, более или менее крутой изогнутый ход. Они получаются независимыми в первом приближении от

¹ Kuntze, W.: Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 2 (1928/29) S. 109—117; Z. VDI Bd. 73 (1929) S. 469—471, Bd. 74 (1930) S. 78—82, 231—234 Z. Metallkde. Bd. 22 (1930) S. 264—268 Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. Sonderheft 20 (1932); Metallwirtsch. Bd. 11 (1932) S. 179—184, 343—347.

² Rawdon, H. a. H. Mutchler: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. v. 70 (1924) P. 342—364. Freeman, J. R. a R. F. France; Technol. Pap. Bur. Stand. 1925 Nr. 288. Körber, F. u. H. Hoff: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 10 (1928) S. 175—187.

формы и размеров деформируемого материала и испытуемого тела, если только материал претерпел приблизительно одинаковую предварительную обработку, т. е. был хорошо отожжен.

Далее, как будет показано в § 77, различные виды деформирования можно выразить одинаковой единицей измерения. Для этого необходимо условиться в выборе степени деформации, выражая ее или как уменьшение поперечного сечения q (при волочении, прессовании, растяжении) как принято в этой книге, или как уменьшение высоты η (при прокатке, осаживании), или же как удлинение (или увеличение поперечного сечения при осаживании) λ или, наконец, как так называемую эффективную деформацию ϵ Людвига (Ludwik). Названные характеристики легко выражаются одна через другую при помощи следующих соотношений:

$$1 + \lambda = \frac{1}{1 - q} = \frac{1}{1 - \eta}$$

$$\epsilon = \ln(1 + \lambda) = \ln \left(\frac{1}{1 - q} \right) = -\ln(1 - q).$$

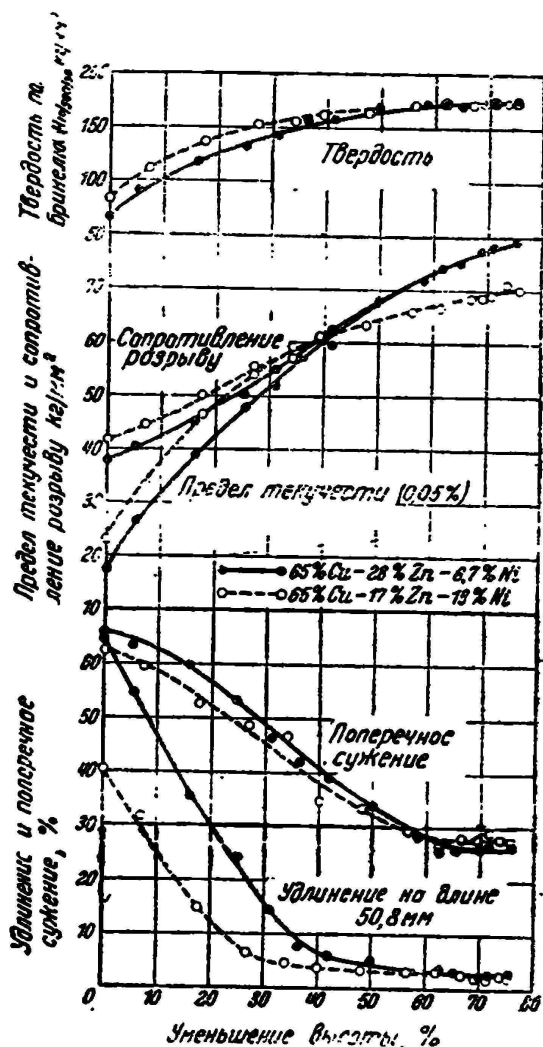
Для различных металлов и сплавов имеются многочисленные исследования изменений механических свойств при холодной прокатке и волочении. Сюда относятся, например, исследования над алюминием¹ и его сплавами², медью³, латунью⁴ и другими медными

¹ Reinhardt, R.: Diss. Dresden 1920. Wunder, W.: Elektrotechn. Z. Bd. 45 (1924) S. 1109—1115. Körber, F. u. H. Hoff: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 10 (1928) S. 175—187. Schwarz, O.: Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1929 Heft 313.

² Cohn, L.: Verh. Ver. Bef. Gewerbefleisz. Bd. 89 (1910) S. 643—654. Bachmetew, F.: Metallwirtsch. Bd. 10 (1931) S. 451—454.

³ Grand: Rev. Métallurg. v. 6 (1909) P. 1069—1113. Stribeck, R. Z. VDI Bd. 53 (1909) S. 897—901; Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1910 Heft 85 S. 33—51. Mathewson, C. H. a. E. M. Talheimer: Bull. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. 1916 P. 1185. Müller, W.: Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1918 Heft 211. Johnson, F.: J. Inst. Met., Lond. v. 21 (1919 I) P. 335—376, v. 23 (1920 I) P. 443—498. Alkins, W. E.: J. Inst. Met., Lond. v. 23 (1920 I) P. 381—442, v. 31 (1924 I) P. 157—163. Körber, F. u. H. Hoff: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 10 (1928) S. 175—187. Krupkowski, A.: Rev. Métallurg. v. 28 (1931) P. 529—545, 598—609, 641—660, v. 29 (1932) P. 16—33, 74—92. Webster, W. R., J. L. Christie a. R. S. Pratt: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. 1933 P. 166—169. Ancelle, A.: Rev. Métallurg. v. 30 (1933) P. 266—274, 309—318.

⁴ Grand: Rev. Métallurg. v. 6 (1909) P. 1069—1113. Stribeck, R.: Z. VDI Bd. 53 (1909) S. 897—901; Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1910 Heft 85 S. 33—51. Körber, F. u.



Фиг. 5. Влияние прокатки на механические свойства нейзильбера (по Прейсу и Давидсону).

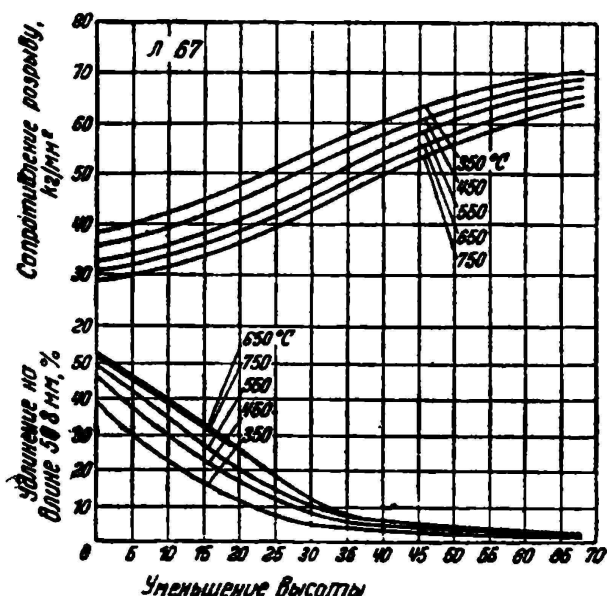
сплавами¹, никелем и его сплавами², серебром и его сплавами³, золотом и его сплавами⁴. Некоторые кривые приведены на фиг. 1—5.

§ 6. Влияние предшествовавшей истории и степени чистоты материала на его упрочнение

Приводимые в различных источниках данные, относящиеся к рассматриваемому здесь вопросу, расходятся между собой в известных пределах. Причины этого различные. Одна из них состоит в том, что исходное состояние материала еще недостаточно характеризуется ука-

занием химического состава и обычных в практике условий отжига. Как степень чистоты, так и вся предшествовавшая история полуфабриката могут обуславливать немалые колебания в свойствах «одинакового» материала в «одинаковом» состоянии. По существу все те факторы, которые оказывают влияние на механические свойства отожженного материала, обнаруживаются также в соответствующем смещении кривых упрочнения.

Предварительная обработка действительно чистых металлов лишь незначительно влияет на упрочнение. Для меди установлено влияние степени деформации перед последним отжигом⁵. Механические свойства несложных по структуре



Фиг. 6. Влияние промежуточного отжига на упрочнение латуни (Л67) при прокатке (по Бассету и Дэвису).

сплавов (твердые растворы) могут также в значительной степени зависеть от температуры отжига (ср. § 28)⁶. Фиг. 6 показывает это на примере латуни (Л67) по Бассету и Дэвису.

P. J. H. Wieland: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 3 (1921) S. 57—87, Bassett, W. H. a. C. H. Davis: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Inst. Met. Div. 1928 P. 55—73. Körber, F. u. H. Hoff: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. Düsseld. Bd. 10 (1928) S. 175—187.

¹ Müller, W.: Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1918 Heft 211. Price, W. B. a. P. Davidson: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. v. 64 (1920) p. 510—523.

² Browne, D. H. a. J. F. Thompson: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr. v. 64 (1920) P. 387—419. Körber, F. u. H. Hoff: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 10 (1928) S. 175—187. Ancelle, A.: Rev. Métallurg. v. 30 (1933) P. 266—274, 309—318.

³ Saefel, F. u. G. Sachs: Z. Metallkde, Bd 17 (1925) S. 155—161, 258—264, 294—298. Ellis, O. W.: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Inst. Met. Div. 1928 P. 755—756. Holzmann, H.: Festschrift Siebert, S. 121—148. Hanau 1931.

⁴ Carter, F. E.: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Inst. Met. Div. 1928, P. 786—803.

⁵ Müller, W.: Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 1918 Heft 211.

⁶ Uptegrove, C. a. W. G. Harbert: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., v. 68 (1923) P. 725—734. Bassett, W. H. a. C. H. Davis: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engr., Inst. Met. Div. 1928 P. 55—73

Еще более сильное влияние может иметь скорость охлаждения после отжига именно для тех материалов, которые поддаются термической обработке. Во многих металлах уже незначительные примеси, например магний в алюминии, вызывают эффект старения (ср. § 30). Свойства сплавов, содержащих намеренные или ненамеренные улучшающие примеси, также в значительной мере определяются степенью чистоты входящих в сплав металлов.

Напротив, действие малых количеств примесей, порядка 0.1%, на упрочнение сравнительно невелико, если они входят в твердый раствор. Наконец, примеси, входящие в сплав в виде обособленных составляющих, действуют весьма различно, смотря по форме и объему образуемых ими кристаллов. Они сказываются вредно главным образом на способности к формоизменению, в то время как на сопротивление деформированию они оказывают едва заметное влияние.

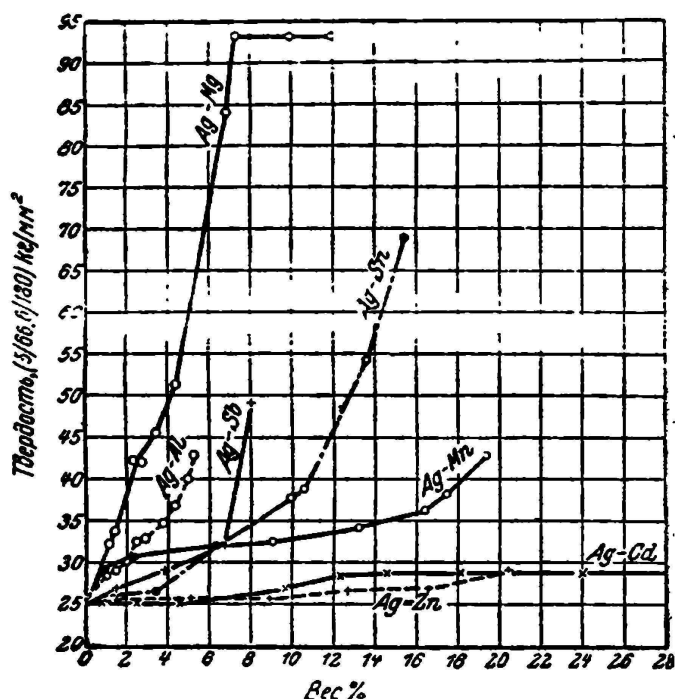
Кривые упрочнения для различных сортов меди иллюстрируют влияние этих примесей (фиг. 1). Прочность электролитической меди с сравнительно высоким содержанием кислорода, но очень чистой относительно прочих примесей, оказывается наиболее низкой. Прочность других сортов меди несколько выше, очевидно, благодаря содержанию фосфора (0.001%), серебра и т. д. Поперечное сужение, напротив, зависит только от присутствия кислорода, содержание которого колеблется в пределах между 0 и 0.04 вес. % (0.6 объемн. %). Удлинение не следует этим простым зависимостям.

В общем же присутствие примесей в таких количествах не сказывается существенно на изменении механических свойств при холодном деформировании, вызывая лишь соответствующее смещение их относительно различных исходных значений.

§ 7. Упрочнение сплавов

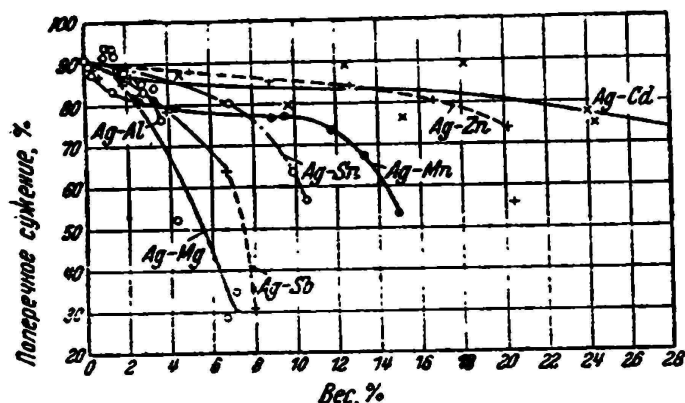
При введении большого количества добавок механические свойства сплава изменяются обычно таким образом, что сопротивление разрыву и твердость его возрастают в то время как способность к деформации падает.

Такая сравнительно простая зависимость устанавливается прежде всего для твердых растворов. В этом случае, как показано на фиг. 7 и 8, твердость возрастает почти параллельно с уменьшением поперечного сужения. Размер этих изменений весьма различен для различных компонентов, входящих в сплав. Для большого числа их упрочнение при равных количествах (в атомных %) тем больше, чем дальше рассматриваемый элемент отстоит от основного в периодической си-



Фиг. 7. Влияние добавок на твердость твердых растворов серебра.

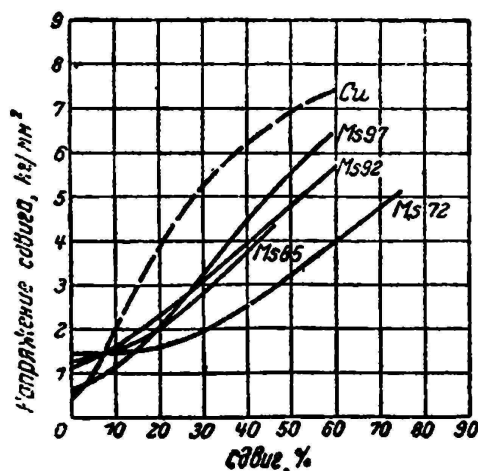
стеме¹. Очень близко расположенные к меди и серебру элементы цинк и кадмий обнаруживают особенно малый эффект упрочнения. От этого правила отступают, однако, некоторые вещества, например магний, который, несмотря на свою близость к серебру, сообщает последнему



Фиг. 8. Влияние добавок на поперечное сужение твердых растворов серебра

сильный эффект упрочнения (ср. фиг. 7 и 8). Это установленное Норбури для механических свойств правило справедливо, повидимому, в еще большей мере для электропроводности². Одним из замечательных свойств, которые материал обнаруживает при обработке, является его способность к упрочнению. Обработка некоторых сплавов, например α -латуни и аустенитных сталей, особенно затруднительна потому, что усилие деформирования очень сильно возрастает со степенью холодной деформации (ср. фиг. 11 и 12). Это свойство обнаруживается также в высоком удлинении этих материалов (в отожженном состоянии). Связь между удлинением и способностью к упрочнению подтверждается также теоретически³. Другие механические свойства не обнаруживают столь простой зависимости. Впрочем, предел текучести оказывается особенно низким у сплавов с высокой способностью к упрочнению⁴. Такие сплавы легко поддаются изгибу, однако дальнейшему деформированию упрочненные участки оказывают большое сопротивление. В общем же такие сплавы считаются сравнительно мягкими.

К сплавам с высокой способностью к упрочнению относятся преимущественно высоколегированные твердые растворы меди, γ -железа (аустенитные



Фиг. 9. Кривые упрочнения монокристаллов меди и латуни при растяжении.

¹ Norbury, A. L.: J. Inst. Met., Lond. v. 29 (1923 I) P. 423—444; Trans. Faraday Soc. v. 19 (1924) P. 586—600. Saefel, F. u. G. Sachs: Z. Metallkde Bd. 17 (1925) S. 155—161, 258—264, 294—298.

² Norbury A. L.: Trans. Faraday Soc. v. 17 (1921) P. 251, v. 19 (1924) P. 586—600; J. Inst. Met., Lond. v. 33 (1925 I) P. 91—95 Hansen, M. u. G. Sachs: Z. Metallkde, Bd. 20 (1928) S. 151—152. Linde, J. O.: Ann. Physik [5] Bd. 10 (1931) S. 52—70, Bd. 14 (1932) S. 353—362, Bd. 15 (1932) S. 219—248. Fraenkel, W.: Metallwirtsch. Bd. 12 (1933) S. 159—161.

³ Körber, F.: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 3 (1922) S. 1—15. Saefel, F. u. G. Sachs: Z. Metallkde. Bd. 17 (1925) S. 155—161, 258—264, 294—298.

⁴ Körber, F. u. W. Rohland: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 5 (1924) S. 55—68.

стали)¹, серебра² и возможно также никеля и золота; сплавы алюминия и α -железа (ферритные стали) не относятся к этой группе.

Некоторое представление о своеобразном изменении механических свойств сплавов в зависимости от их химического состава дают исследования монокристаллов твердых растворов³. На фиг. 9 показано, как кривая упрочнения монокристалла чистой меди очень своеобразно, но совершенно закономерно постепенно переходит в кривую, характерную для высоколегированных твердых растворов.

Влияние компонентов сплава, не входящих в твердый раствор, значительно менее сложно. Как уже было сказано в предыдущем параграфе, в этом случае обнаруживается лишь более или менее сильное смещение соответствующих кривых упрочнения. При высокой дисперсности составляющих в сплаве, как это наблюдается в частности в сплавах стареющих, сопротивление деформированию может заметно повышаться. Но способность к деформации понижается в данном случае не так сильно, как это имеет место при более грубых включениях. Об особых свойствах стареющих сплавов будет еще сказано ниже.

§ 8. Влияние условий обработки на упрочнение

Механические свойства материала могут зависеть очень сильно также от условий обработки.

Это выясняется при рассмотрении кривых упрочнения для латунной (фиг. 10 и 11) и стальной проволоки, протянутых за один проход в конических очках из различных материалов и с разными углами наклона⁴. Особенно сильно сказывается влияние материала и формы инструмента на упрочнение отожженного материала при малых обжатиях и притом тем сильнее, чем больше коэффициент трения и чем больше угол наклона очка⁵. При более сильных деформациях влияние это значительно меньше. Для предварительно тянутой проволоки упрочнение оказывается даже одинаковым. Никакого влияния не оказывает форма очка при протяжке латунных и латунных труб (фиг. 12)⁶.

В производственной практике сильные деформации осуществляются обычно не в один прием, а в несколько последовательных. Формы инструмента при этом также не столь различны, как в описанных выше опытах; поэтому здесь можно ожидать лишь небольших колебаний. При прокатке вообще не удалось наблюдать влияния степени обжатия за проход на упрочнение (фиг. 13)⁷. Напротив, Давиденков и Бутаков установили неравномерный ход кривых упрочнения при прокатке латунных листов, что удалось поставить в связь с остаточными напря-

¹ Körber, F. u. W. Rohland: a. a. O.

² Saefte, F. u. G. Sachs: a. a. O.

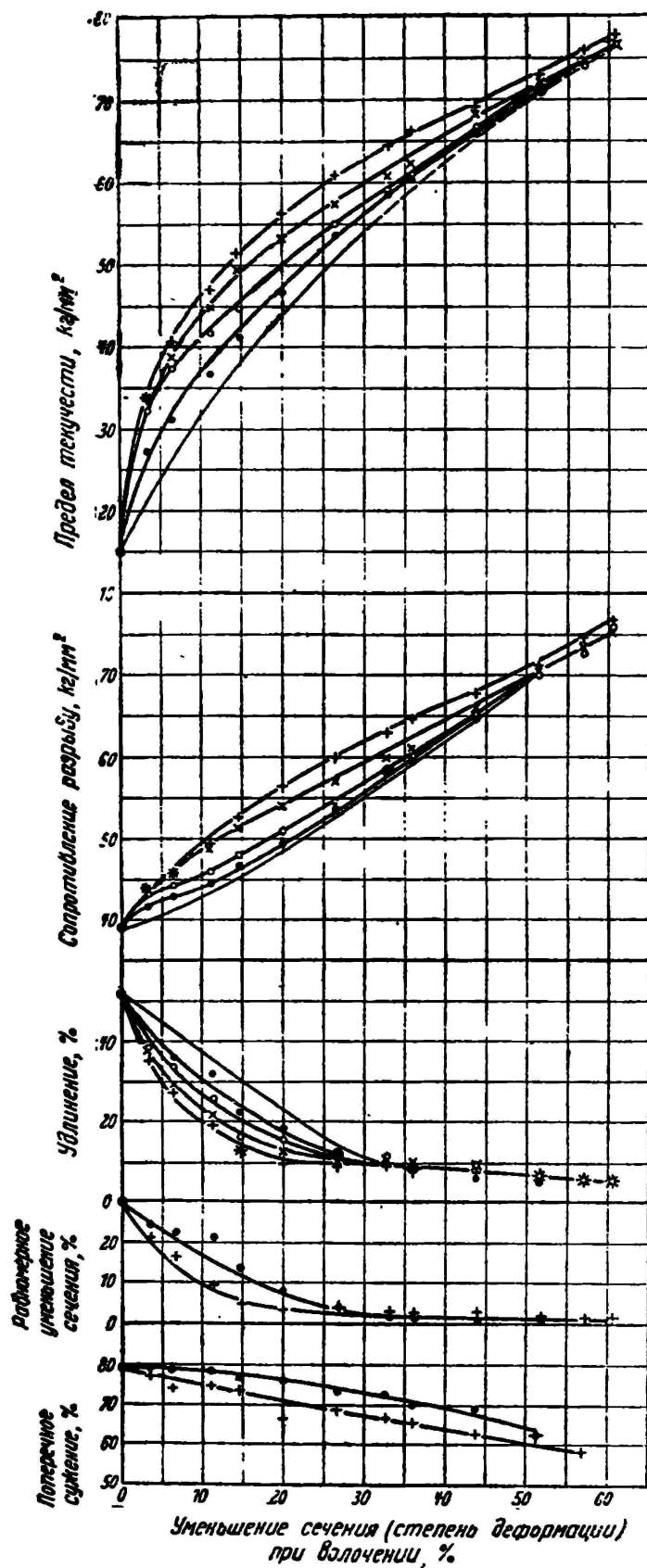
³ Elam, C. F.: Proc. Roy. Soc., Lond. (A) v. 115 (1927) P. 148—166. Masima, M. u. G. Sachs: Z. Physik Bd. 50. (1928) S. 161—186. Göler, Frhr. v. u. G. Sachs: Z. Physik Bd. 55 (1929) S. 581—620. Sachs, G. u. J. Weerts: Z. Physik Bd. 62 (1930) S. 473—493. Osswald, E.: Z. Physik Bd. 83 (1933) S. 55—73. Schmid, E. u. H. Seliger: Metallwirtsch. Bd. 11 (1932) S. 409—411, 421—424.

⁴ Linicus, W. u. G. Sachs: Mitt. dtsh. Mat.-Pruf.-Anst. Sonderheft 16 (spanlose Formung) (1931) S. 38—67.

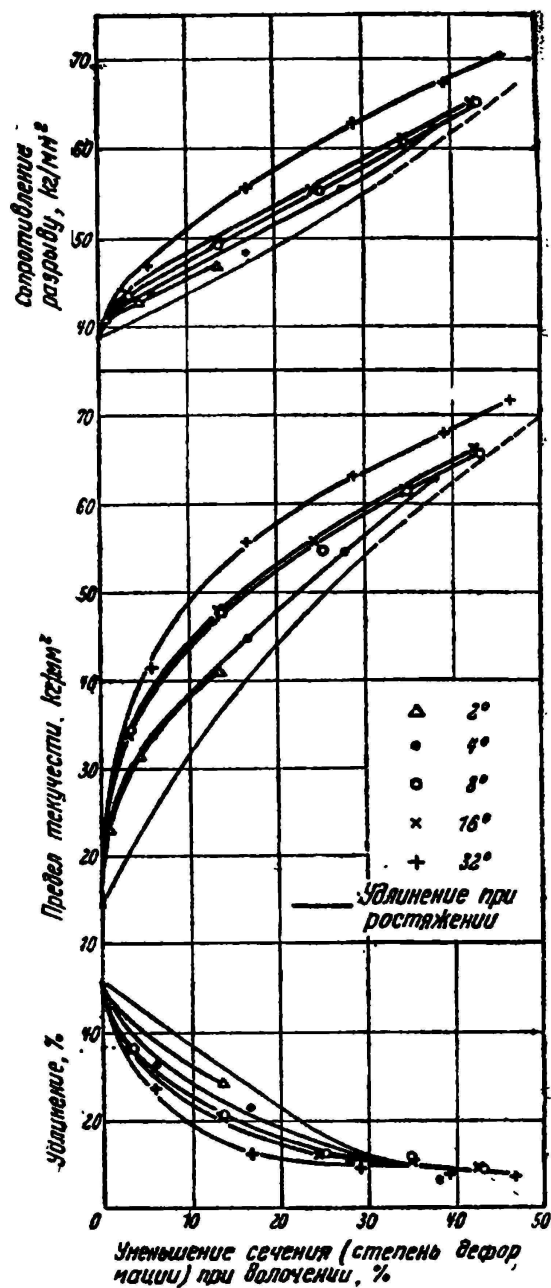
⁵ Cp. A. Pomp, E. Siebel u. A. Houdremont: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. Düsseld., Bd. 11 (1929) S. 53—72.

⁶ Jung-König, W., W. Linicus u. G. Sachs: Metallwirtsch. Bd. 11 (1932) S. 395—401.

⁷ Siebel, E. u. A. Pomp: Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. Düsseld. Bd. 11 (1929) S. 73—85.



Фиг. 10. Карбид-вольфрамовые волокна



Фиг. 11. Стальные
волокна.

Фиг. 10, 11. Изменение механических свойств латунной проволоки (Л63) при однократном волочении через карбид-вольфрамовое очко и стальное очко при различных углах наклона.