

УДК 620.178

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
ЖЕЛЕЗОУГУЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С АБРАЗИВНОЙ СРЕДОЙ

Д. А. Попов, А. И. Символоков

ФГБОУ ВО Воронежский государственный

лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова

Основное действие абразивных частиц, находящихся в грунте, при эксплуатации землеройных рабочих органов – это царапание с оттеснением материала в стороны [1-3]. Силовое взаимодействие абразивной частицы с поверхностью трения материала можно рассматривать на двух этапах. На первом этапе абразивная частица под действием нагрузки стремится внедриться в поверхность и мерой сопротивления ее внедрению является твердость материала. На площади контакта единичной абразивной частицы с поверхностью изнашивания действуют главным образом напряжения сжатия, поэтому, чем выше твердость материала, тем меньше будет глубина внедрения в него абразивной частицы [4]. На втором этапе абразивного изнашивания при перемещении внедрившейся частицы в контактирующем металле возникают напряжения растяжения, сжатия, среза, то есть противодействие материала приобретает прочностной характер. Определяющее значение прочностной основы в механизме абразивного изнашивания доказывается в работах Г. М. Сорокина и его учеников [5, 6]. При постоянной твердости материала повышение других механических характеристик (прочности, пластичности) вносит дополнительную прибавку к общему значению износостойкости. Свидетельством тому является зависимость износостойкости от энергоемкости E , которая адекватна, по мнению ряда исследователей [7], произведению предела прочности на относительное сужение ($\sigma_b \cdot \psi$) (рис. 1).

Таким образом, при одинаковой твердости более высокую износостойкость имеют те материалы, у которых выше других характеристики механических свойств.

Материал, подвергающийся абразивному изнашиванию должен представлять собой композицию, состоящую из металлической матрицы, обладающей высокой энергоемкостью, армированной компонентами высокой твердости, например карбидами.

В зависимости от химического состава и технологии производства, металлическая матрица может быть представлена ферритом, аустенитом, мартенситом, ледебуритом и определенными их комбинациями. Мартенсит и ледебурит являются очень твердыми и хрупкими фазовыми составляющими и не отличаются стойкостью при абразивном изнашивании сопровождающимся высокими динамическими нагрузками. Относительно пластичными структурными составляющими железоуглеродистых сплавов являются феррит и аустенит.

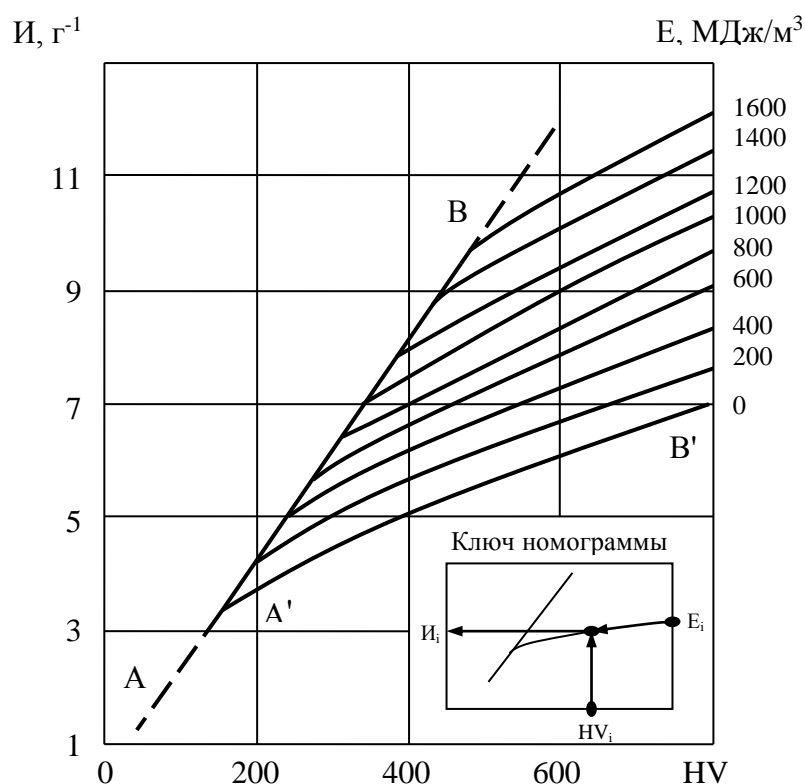


Рисунок 1 – Номограмма износостойкости материалов с учетом их твердости и энергоемкости

Литературные данные показывают [2, 8, 9], что феррит в сравнении с аустенитом имеет значительно более низкую прочность и износостойкость. Само строение кристаллической решетки аустенита определяет его более высокую прочность в сравнении с ферритом. Атомы аустенита упакованы в ячейке гранцентрированного куба плотнее, чем в ячейке объемноцентрированного куба – феррита. Следовательно, аустенитная основа сплава должна обладать большей прочностью, пластичностью и износостойкостью, чем ферритная. Пластическая деформация аустенита происходит главным образом путем сдвига атомов металла по плоскости октаэдра в котором они расположены наиболее

плотно. В аустените меньше, чем в феррите плоскостей скольжения с наибольшей плотностью расположения атомов, удобных для сдвига. Кроме этого, в случаях трения скольжения по абразиву при больших удельных давлениях или ударно-абразивного изнашивания, аустенит может претерпевать фазовые превращения в мартенсит или упрочняться благодаря фрагментации кристаллических блоков и микроискажений (наклепываться). Износостойкость сплавов с нестабильным аустенитом в 4 ... 5 раз больше износостойкости сплавов, содержащих повышенное количество карбидов и не претерпевающих фазовых превращений в процессе деформации [10]. Следует также отметить, что мартенсит деформации, образующийся в результате фазовых превращений из нестабильного аустенита, обладает большей износостойкостью, чем мартенсит закалки. Это объясняется тем, что мартенсит закалки обладает большими термическими напряжениями. Аустенит по сравнению с мартенситом менее износостойкий, но зато более вязкий и создает условия для прочного удержания карбидных частиц в своей основе. Но и в аустенитной матрице для получения сплавов с высокой износостойкостью количество карбидов должно быть в определенных пределах и не превышать 25 ... 30 %.

Существенное влияние на повышение износостойкости материалов, подвергающихся абразивному изнашиванию, оказывают твердые структурные составляющие – карбиды. Положительная роль карбидной фазы состоит в создании своеобразного барьера на пути движения абразивной частицы. При встрече с карбидом может произойти затупление, разрушение или оттеснение абразива, в результате этого эффективность его воздействия на металлическую основу и изнашиваемую поверхность снижается. Благоприятное влияние твердых карбидных включений определяется их размерами, количеством и возможностью матрицы надежно удерживать армирующие зерна. Результаты исследований, представленные в работах [11, 12], свидетельствуют, что износостойкость высоколегированных сплавов со структурой карбидной эвтектики по границам дендритообразных зерен твердого раствора выше, чем при мелких равномерно расположенных карбидах или при строчечном расположении карбидов. По мнению других авторов [13], лучшими противоизносными свойствами обладают сплавы, равномерно насыщенные мелкодисперсными карбидами. Они считают, что мелкодисперсная фаза лучше удерживается в матрице, так как границы зерен не отличаются протяженностью, а значит, сцепление с матрицей прочнее.

На износостойкость чугунов существенное влияние оказывает графитная фаза. Ряд исследователей считают, что короткие графитовые пластины оказывают благоприятное влияние на износостойкие свойства чугуна, а грубые включения, переплетенные между собой, и графит завихренной формы образуют замкнутый контур и увеличивают износ [14]. Наибольшая износостойкость чугуна отмечается при длине графитовых включений 125 ... 250 мкм. При этом механизм изнашивания рассматривается как результат отделения частиц тончайшего пластически деформированного слоя и сравнительно крупных объемов металла, не подвергающихся существенным пластическим деформациям. При этом отделяются те частицы, связь с основой у которых за счет графита нарушена.

Из анализа рассматриваемых работ, где изучались влияние структурных составляющих различных сплавов на износ, трудно устанавливать какую-либо закономерность. Необходимо на одних и тех же сплавах изучать вклад как отдельных структурных составляющих, так и совместное их влияние на износ. Следует иметь в виду, что при одинаковой структуре сплава по разному проявляются его физико-механические свойства в зависимости от видов трения.

Известно, что величины относительного износа и относительной износостойкости зависят от соотношения твердости абразивных частиц H_a и твердости испытуемого материала H_M [2, 15]. Такая зависимость может быть представлена в виде схемы (рис. 2).

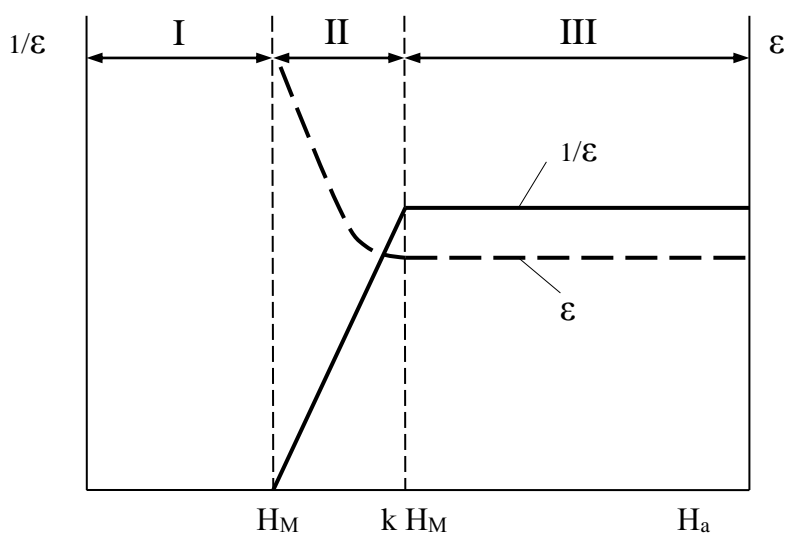


Рисунок 2 – Схема зависимости относительного износа $1/\epsilon$ и относительной износостойкости ϵ материала твердостью H_M от твердости абразивных зерен H_a

В области I ($H_a < H_M$) абразивного износа практически нет; в области III

($H_a > kH_M$, $k > 1$) относительный износ и относительная износостойкость имеют конечные и постоянные величины, не зависящие от H_a ; в переходной зоне II относительный износ при изменении H_a от kH_M до H_M снижается с конечной величины до нуля, а относительная износостойкость повышается с конечной величины до бесконечности. Эта упрощенная схема объясняет наблюдаемое изменение износостойкости одного и того же материала при изнашивании абразивом разной твердости.

Абразивные частицы, содержащиеся в грунте, могут относиться к разным минералам, обладающим различной твердостью и изнашивающей способностью. Для того чтобы оценить возможную относительную износостойкость материалов, применяемых при изготовлении рабочих органов строительного дорожных машин, необходимо знать твердость тех минералов, которые могут входить с ними в контакт и производить изнашивание.

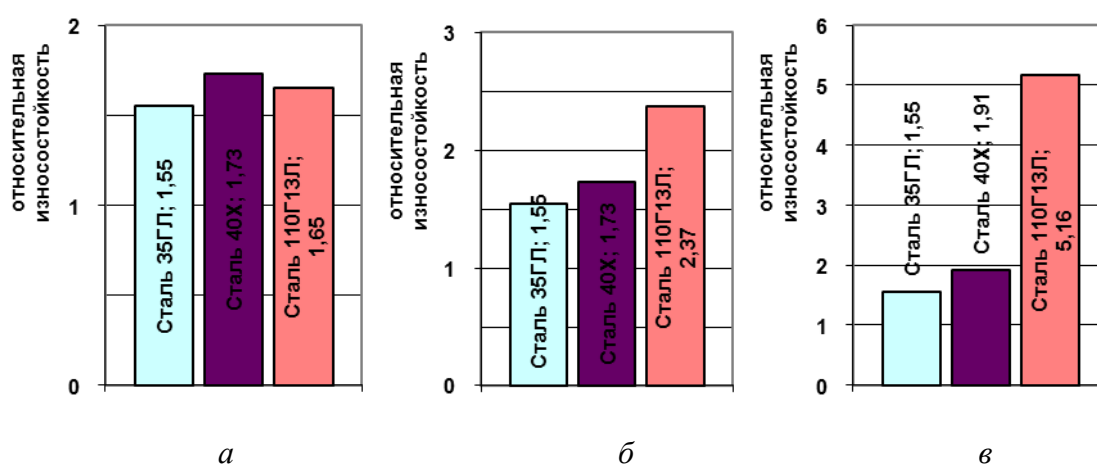
С целью обоснования выбора материала шлифовальной шкурки для дальнейших исследований, были проведены испытания на лабораторной установке Х4-Б при трении о закрепленный абразив различной твердости. Для этого образец каждого исследуемого материала проходил испытание на изнашивание на разных шлифовальных шкурках: из нормального электрокорунда марки О2 840×20 У1 14А 8-Н СФЖ ГОСТ 13344-79 (твердость зерна 22900 МПа); гранатной зернистостью 8-Н на влагопрочной бумаге М, изготовленной по ГОСТ 10054-82 (твердость зерна 14260 МПа); кремниевой марки 950×30 М 81Кр 8-Н ГОСТ 10054-82 (твердость зерна 10500 МПа) и стеклянной марки 950×30 М 71Ст 8-Н ГОСТ 10054-82 (твердость зерна 5850 МПа). Зернистость шкурок и удельное давление на испытуемые образцы для всех опытов были одинаковыми и равными соответственно 8-Н и 1,0 МПа.

Испытанию на изнашивание подвергались материалы, традиционно применяемые при изготовлении рабочих органов строительного-дорожных машин – сталь 40Х, 35ГЛ и 110Г13Л [7, 16]. В качестве эталонного материала использовалась сталь Ст 3 в состоянии поставки.

Результаты испытаний материалов на относительную износостойкость в зависимости от твердости абразива представлены в таблице 1, в виде диаграмм на рисунке 3, а также в виде графика на рисунке 4.

Относительная износостойкость стали 35ГЛ, имеющая феррито-перлитную матрицу, при испытаниях на всех абразивных шкурках была равна 1,55. Ее износостойкость не зависит от твердости абразива в исследуемом пре-

деле (5850 ... 22900 МПа). Объясняется это тем, что сталь 35ГЛ обладает незначительной изначальной твердостью 207 НВ, гораздо меньшей твердости самого «мягкого» абразивного зерна стеклянной шлифовальной шкурки. То есть, относительная износостойкость стали 35ГЛ в проведенных экспериментах лежит в зоне III (рисунок 2), где отношение твердости абразива H_a к твердости изнашивающегося материала H_M гораздо выше критического ($k_{кр} = 1,3 \dots 1,7$). Это говорит о том, что основным видом разрушения поверхности трения стали 35ГЛ при испытаниях на всех абразивных шкурка, было микрорезание.



а – при изнашивании об электрокорундовую шлифовальную шкурку; б – при изнашивании о кремниевую шлифовальную шкурку; в – при изнашивании о стеклянную шлифовальную шкурку

Рисунок 3 – Относительная износостойкость “ε” исследуемых материалов

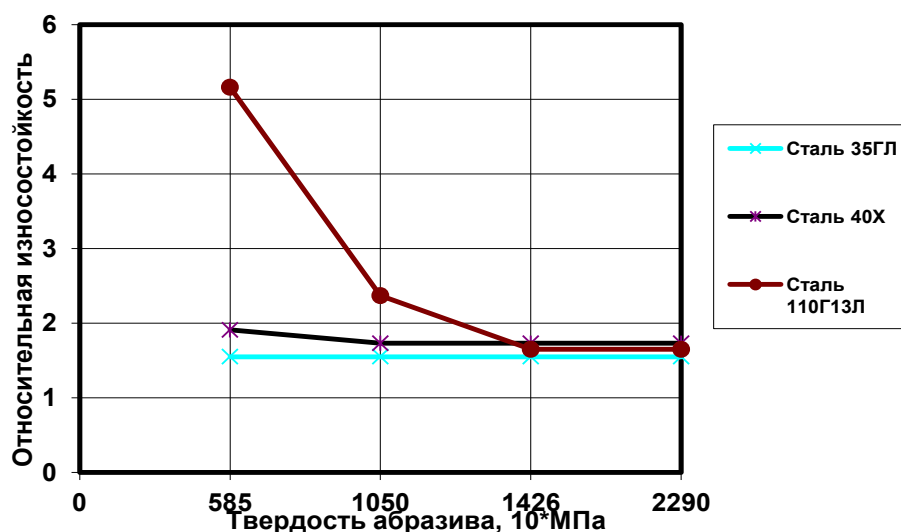


Рисунок 4 – Зависимость относительной износостойкости “ε” исследуемых материалов от твердости абразивных зерен

Таблица 1 – Значения относительной износостойкости "ε" и микротвердости после испытания на изнашивание с различными абразивными частицами

Исследуемый материал	Материал абразива							
	стекло		кремний		гранат		электрокорунд	
	микро- твердость, 10*МПа	ε	микро- твердость, 10*МПа	ε	микро- твердость, 10*МПа	ε	микро- твердость, 10*МПа	ε
Сталь 110Г13Л	650	5,16	770	2,36	950	1,65	1010	1,65
Сталь 40Х	440	1,91	462	1,72	478	1,72	486	1,72
Сталь 35ГЛ	248	1,55	256	1,55	262	1,55	265	1,55

Схожий процесс наблюдается и при испытаниях стали 40Х (перлитная матрица исходная твердость 38 HRC_Э). Ее относительная износостойкость не меняется в процессе изнашивания об электрокорундовую, гранатную и кремниевую шлифовальные шкурки. Только при трении о шкурку со стеклянным абразивным зерном, относительная износостойкость стали 40Х повышается с 1,73 до 1,91. То есть при испытаниях о стеклянное наждачное полотно, относительная износостойкость стали 40Х переходит из зоны III в зону II, для которой характерно начало перехода процесса разрушения поверхности трения от микро-резания к многократному передеформированию.

Иной характер зависимости относительной износостойкости от твердости абразива наблюдается у аустенитной марганцовистой стали 110Г13Л. Хотя ее исходная твердость не велика 210 НВ и мало отличается от стали 35ГЛ, относительная износостойкость стали 110Г13Л значительно увеличивается с уменьшением твердости абразивного зерна. Так величина относительной износостойкости "ε" при трении о корундовую и гранатовую шлифовальные шкурки составила 1,65, при трении о кремниевую шкурку – 2,37 и стеклянную – 5,16. Это объясняется тем, что сталь 110Г13Л в процессе взаимодействия с абразивом значительно упрочняется (наклепывается). Ее твердость многократно возрастает и при трении об относительно «мягкие» кремниевую и стеклянную шкурки приближается к твердости абразива.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод – твердость абразива существенно влияет на износостойкость материала только в тех случаях, когда изначальная твердость материала близка к твердости абразива или когда материал интенсивно упрочняется в процесс изнашивания. Испытуемые образцы подвергались трению о закрепленные частицы четырех абразивных материалов твердостью от 5850 до 22900 МПа в различном со-

четании. Было установлено наличие критической величины отношения твердости абразивных зерен H_a к твердости материала H_M , после которой значение относительной износостойкости "ε" не менялось. В тех случаях, когда твердость абразива приближалась к твердости материала, то есть H_a / H_M меньше критического, относительная износостойкость "ε" резко возрастала. Это явление можно объяснить изменением механизма абразивного изнашивания – от микрорезания поверхности трения к полидеформационному разрушению.

Известно, что основным абразивным материалом грунтов, с которым взаимодействуют рабочие органы строительно-дорожных машин, являются частицы кварца, обладающие твердостью порядка 11000 ... 11450 МПа [17]. Для того чтобы условия проведения лабораторных испытаний на машине трения Х4-Б были максимально приближены к условиям эксплуатации землеройных рабочих органов, необходимо, чтобы твердость абразивного материала шлифовальной шкурки была сопоставима с твердостью кварца. Из стандартных шлифовальных шкурок этому условию наиболее полно удовлетворяет кремниевая (марки 950 × 30 М 81Кр 8-Н ГОСТ 10054-82) с твердостью зерна 10500 МПа. Поэтому все дальнейшие исследования изнашивания материалов на лабораторной установке Х4-Б проводились на ней. В результате проведенных исследований и лабораторных испытаний отмечено, что одним из возможных путей повышения ресурса рабочих органов СДМ является разработка новых железоуглеродистых сплавов на основе метастабильного аустенита, армированного карбидными включениями. Оптимальным, с точки зрения доступности и технологичности, а значит и конкурентоспособности сырья для подобного сплава может стать синтетический чугуны. В качестве материала рабочих органов строительно-дорожных машин, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания, предлагается использовать чугуны с аустенитной или аустенитно-мартенситной металлической основой, армированной твердыми структурными составляющими – карбидами.

Библиографический список

1 Попов, Д. А. Особенности условий эксплуатации рабочих органов строительно-дорожных машин и факторы, влияющие на их ресурс [Текст] / Попов Д. А., Патюков С. С. // Воронежский научно-технический вестник № 1(11) март 2015 г.– С. 100-111.

- 2 Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст] / М. М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1976. – 271 с.
- 3 Львов, П. Н. Основы абразивной износостойкости деталей строительных машин [Текст] / П. Н. Львов. – М. : Стройиздат, 1970. – 72 с.
- 4 Виноградов, В. Н. Абразивное изнашивание [Текст] / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, В. А. Колокольников. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.
- 5 Сорокин, Г. М. Взаимосвязь износостойкости и механических свойств стали [Текст] / Г. М. Сорокин // Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 9-13.
- 6 Сорокин, Г. М. Основы механизма изнашивания сталей абразивом с позиции металловедения [Текст] / Г. М. Сорокин // Трение и износ. – 1990. – т. 11, №6. – С. 1117-1123.
- 7 Сорокин, Г. М. Вопросы методологии при исследовании изнашивания абразивом [Текст] / Г. М. Сорокин // Трение и износ. – 1988. – т. 9, № 5. – С. 779-786.
- 8 Гаврилова, Л. Д. Разработка экономнолегированных износостойких наплавочных сплавов для деталей бурового оборудования [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л. Д. Гаврилова. – М. : Машиностроение 1986. – 27 с.
- 9 Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой [Текст] / А. И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.
- 10 Попов, В. С. Рентгеноструктурные исследования превращений в рабочей поверхности сплавов при абразивном изнашивании [Текст] / В. С. Попов, Ю. И. Тищук // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1975. – № 1. – С. 107-111.
- 11 Лившиц, Л. С. Основы легирования наплавленного металла [Текст] / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумелли; – М. : Машиностроение 1969. – 188 с.
- 12 Раковский, В. С. Основы производства твердых сплавов [Текст] / В. С. Раковский, Г. В. Самсонов, И. И. Ольхов; – М. : Metallurgizdat, 1960. – 129 с.
- 13 Попов, В. С. Сопротивление абразивному изнашиванию сплавов со структурой метастабильного аустенита в зависимости от их химического состава [Текст] / В. С. Попов, Н. Н. Брыков, М. И. Андрущенко // Трение и износ. – 1991. – № 3. – С. 59-60.
- 14 Колкер, Я. Д. Влияние метода чистовой обработки и микроструктуры на износостойкость чугуновых деталей [Текст] / Я. Д. Колкер, В. И. Дубовой // Станки и инструменты. – 1968. – №12. – С. 72-76.

15 Хрущов, М. М. Исследование влияния твердости абразивных частиц на изнашивание материалов [Текст] / М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. – В кн.: Износ и антифрикционные свойства материалов; – М. : Наука, 1968. – С. 48-64.

16 Строительные машины [Текст] : учеб. для вузов / Д. П. Волков, Н. И. Алешин, В. Я. Крикун, О. Е. Рынсков / под ред. Д. П. Волкова. – М. : Высшая школа, 1988. – С. 147-214.

17 Ткачев, В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания [Текст] / В. Н Ткачев. – М. : Машиностроение, 1995. – 335 с.