ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59115.4— 2021

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Длительные механические свойства конструкционных материалов

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 322 «Атомная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2021 г. № 1168-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за патентную чистоту настоящего стандарта. Патентообладатель может заявить о своих правах и направить в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии аргументированное предложение о внесении в настоящий стандарт поправки для указания информации о наличии в стандарте объектов патентного права и патентообладателе

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Обозначения 3
4 Общие положения 3
5 Значения характеристик длительных механических свойств материалов 4
6 Порядок определения значений характеристик длительных механических свойств материалов 5
6.1 Общие положения 5
6.2 Требования к определению характеристик длительных механических свойств конструкционных материалов 6
6.3 Метод экстраполяции пределов длительной прочности 9
6.4 Метод экспраполяции условных пределов ползучести 12
6.5 Метод прогнозирования относительного удлинения и длительной пластичности 12
Приложение А (справочное) Значения пределов длительной прочности, относительного удлинения и относительного сужения на различных временных базах 14
Приложение Б (справочное) Изохронные кривые деформирования 26
Приложение В (справочное) Влияние облучения на длительную прочность сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9 и 08Х16Н11М3 56
Приложение Г (справочное) Определение длительной пластичности и среднего значения истинного напряжения при разрыве при испытаниях на длительную прочность для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х16Н11М3 и 07Х12НМФБ 66
Приложение Д (справочное) Определение значений коэффициента снижения прочности от обезуглероживания и науглероживания 70
Библиография 72

Введение

Настоящий стандарт взаимосвязан с другими стандартами, входящими в комплекс стандартов, регламентирующих обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Длительные механические свойства конструкционных материалов

Rules for strength assessment of equipment and pipelines of nuclear power installations. Long-term mechanical properties of structural materials

Дата введения — 2022—01—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает значения характеристик длительных механических свойств конструкционных материалов (далее материалов), используемых при проведении расчетов на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, на которые распространяется действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1].

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения при обосновании прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 3248 Металлы. Методы испытания на ползучесть

ГОСТ 10145 Металлы. Метод испытания на длительную прочность

ГОСТ 20700—75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С. Технические условия

ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ Р 8.568 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 8.932 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к методикам (методам) измерений в области использования атомной энергии. Основные положения

ГОСТ Р 50.04.01 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме испытаний. Аттестационные испытания. Общие положения

ГОСТ Р 50.05.11 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Персонал, выполняющий неразрушающий и разрушающий контроль металла. Требования и порядок подтверждения компетентности

ГОСТ Р 53845 (ИСО 377:1997) Прокат стальной. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний

ГОСТ Р 59115.1 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Термины и определения

ГОСТ Р 59115.3 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Кратковременные механические свойства конструкционных материалов

Издание официальное

ГОСТ Р 59115.5 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчетные характеристики циклической и длительной циклической прочности конструкционных материалов

ГОСТ Р 59115.8 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчет по выбору основных размеров

ГОСТ Р 59115.9 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность

ГОСТ Р 59115.10 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Уточненный поверочный расчет на стадии проектирования

ГОСТ Р 59115.11 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на постпроектных стадиях

ГОСТ Р 59115.12 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Уточненный поверочный расчет на постпроектных стадиях

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59115.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **(основные) конструкционные материалы:** Материалы в виде полуфабрикатов из сталей и сплавов, применяемые для изготовления, монтажа и ремонта оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

3.1.2 **металл шва (сварного соединения):** Металл, полученный при плавлении сварочных материалов в процессе выполнения сварного соединения и разбавленный основным металлом за счет его расплавления в зоне свариваемых кромок.

3.1.3 **статическое нагружение:** Нагружение материала, при котором внешняя нагрузка медленно возрастает по абсолютному значению до определенного фиксированного во времени уровня, что силами инерции в деформирующихся и перемещающихся частях элементов (компонентов) конструкции можно пренебречь.

3.1.4 **повреждающая доза:** Интегральная характеристика, отражающая степень радиационного повреждения металла, определяемая как накопленное за определенное время число смещений одного атома из узла кристаллической решетки под действием нейтронного и гамма-излучения; единицей повреждающей дозы является безразмерная величина «сна» — смещение на атом.

3.1.5 **ползучесть:** Процесс накопления в материале вязкопластической деформации под действием нагрузки при температуре выше T_t.

3.1.6 **предел длительной прочности:** Напряжение, подсчитанное как отношение приложенной силы к первоначальной площади сечения образца, при котором происходит разрушение образца в испытаниях на длительную прочность при данной температуре через заданный промежуток времени.

3.1.7 **релаксация:** Затухающий процесс уменьшения напряжений при постоянной полной деформации за счет перехода упругой деформации в вязкопластическую по механизму ползучести.

3.1.8 **условный предел ползучести:** Напряжение, которое вызывает при температуре T полную деформацию ε на временной базе t.

3.1.9 **длительная пластичность:** Истинная деформация в момент разрушения образца при испытаниях на длительную прочность.

3.1.10 **истинное напряжение при разрыве [при длительном статическом нагружении]:** Напряжение при испытаниях на длительную прочность образца в момент разрушения, определяемое отношением силы к площади проекции излома на плоскость, нормальную к линии действия силы (при длительном статическом нагружении).

3.1.11 **первая стадия ползучести:** Стадия неустановившейся ползучести, на которой при постоянном напряжении скорость деформации непрерывно снижается.

3.1.12 **вторая стадия ползучести:** Стадия установившейся ползучести, на которой при постоянном напряжении скорость деформации ползучести не изменяется и ее значение минимально по отношению к первой стадии.

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

T — температура, К (°С);

T_t — температура, выше которой необходимо учитывать ползучесть, К (°С);

$T_{обл}$ — температура облучения, К (°С);

t — время до разрушения, ч;

ε — деформация;

σ — напряжение, МПа;

$R^T_{p0,2}$ — минимальное значение условного предела текучести материала при остаточной деформации 0,2 % при температуре T, МПа;

R^T_m — минимальное значение временного сопротивления материала при температуре T, МПа;

$\overline{R}^T_{mt}$ — среднее значение предела длительной прочности за время t при температуре T, МПа;

R^T_{mt} — минимальное значение предела длительной прочности за время t при температуре T, МПа;

$\overline{R}^T_c$ — среднее значение истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении, МПа;

R^T_c — минимальное значение истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении, МПа;

R^T_{ct} — условный предел ползучести при температуре T, МПа;

A^T_t — относительное удлинение при длительном статическом нагружении за время t при температуре T, %;

Z^T_t — относительное сужение при длительном статическом нагружении за время t при температуре T, %;

E^T — модуль Юнга при температуре T, МПа;

ε^T_{ft} — длительная пластичность (деформация разрушения), м/м;

ξ — скорость деформации, 1/ч;

Ф — скорость набора повреждающей дозы (нейтронного облучения), сна/год;

D — набранная повреждающая доза (нейтронного облучения), сна.

4 Общие положения

4.1 Настоящий стандарт устанавливает значения следующих характеристик длительных механических свойств материалов:

- предел длительной прочности;
- истинное напряжение при разрыве при длительном статическом нагружении;
- относительное удлинение и относительное сужение при длительном статическом нагружении;
- условный предел ползучести;
- изохронные кривые деформирования.

4.2 Рассматривается область температур выше температуры T_t, при которой в материале проявляется ползучесть и становится необходимым определение характеристик длительной прочности:

- для алюминиевых и титановых сплавов при T > 20 °С (293 К);
- циркониевых сплавов при T > 250 °С (523 К);
- углеродистых, легированных, кремнемаргонцовистых, высокохромистых сталей марок T > 350 °С (623 К);

- хромомолибденованадиевых сталей при T > 400 °С (673 К);
- стали марки 07Х12НМФБ при T > 425 °С (698 К);
- коррозионно-стойких сталей аустенитного класса и железоникелевых сплавов при T > 450 °С (723 К).

В таблице 1 приведены значения температуры T_t для марок сталей, приведенных в приложении А, выше которой необходимо учитывать ползучесть в металле при расчете на прочность.

Таблица 1 — Значения температруы T_t для марок сталей, приведенных в приложении А

Марка стали	T_t, °С
10Х2М, 10Х2М1ФБ, 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ, 20ХМФЛ, 16ГНМА, 09Г2С, 20Х1М1Ф1ТР, 05Х12Н2М	350
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ, 1Х12В2МФ, 25Х1МФ, 10Х9МФБ	400
07Х12НМФБ	425
09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 12Х18Н12М3ТЛ, 03Х16Н9М2, 08Х16Н11М3, 10Х17Н13М2Т, ХН35ВТ, 06Х20Н46Б, 03Х21Н32М3Б	450

4.3 При проведении расчетов на прочность значения характеристик длительных механических свойств материалов следует принимать по данным документов по стандартизации на материалы и/или по требованиям проектной конструкторской документации[1)], а в случае их отсутствия или недостаточности в вышеперечисленных документах — по данным, приведенным в приложениях А—Г, с учетом возможного влияния эксплуатационных факторов (рабочей среды, температуры, нейтронного облучения) на изменение характеристик длительных механических свойств в течение срока службы оборудования и трубопроводов.

4.4 Влияние эксплуатационных факторов на характеристики длительных механических свойств материалов, а также необходимые значения характеристик длительных механических свойств в случае их отсутствия в документах, указанных в 4.3, и в настоящем стандарте, следует определять на основе представительных экспериментальных данных в соответствии с требованиями ГОСТ 10145 и настоящего стандарта.

4.5 В расчетах допускается использовать значения характеристик длительных механических свойств материалов в соответствии с 4.3, умноженных на коэффициент снижения, зависящий от типа материала и эксплуатационных факторов.

4.6 Значения характеристик длительных механических свойств используют:

- при определении допускаемых напряжений при выборе основных размеров элементов (компонентов) согласно ГОСТ Р 59115.8;
- в поверочных расчетах на длительную статическую прочность согласно ГОСТ Р 59115.9 — ГОСТ Р 59115.12;
- при построении кривых усталости согласно ГОСТ Р 59115.5.

5 Значения характеристик длительных механических свойств материалов

В настоящем стандарте приведены значения следующих характеристик длительных механических свойств материалов:

- средние значения пределов длительной прочности (таблицы А.1, А.2 приложения А);
- средние значения относительного удлинения и относительного сужения при длительном статическом нагружении (таблицы А.3, А.4 приложения А);
- минимальные значения пределов длительной прочности (таблица А.5 приложения А);
- изохронные кривые деформирования, характеристики ползучести и релаксации (приложение Б);
- кривые длительной прочности сталей 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9 и 08Х16Н11М3 с учетом влияния облучения (приложение В);
- длительная пластичность и истинное напряжение при разрыве при длительном статическом нагружении сталей 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х16Н11М3 и 07Х12НМФБ с учетом влияния облучения (приложение Г);
- параметры науглероживания и коэффицинеты снижения прочности при обезуглероживании при длительном контакте стали с натрием реакторной чистоты (приложение Д).

[1)] Применимость материалов для изготовления оборудования и трубопроводов регламентируется федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии [1].

6 Порядок определения значений характеристик длительных механических свойств материалов

6.1 Общие положения

6.1.1 Настоящий раздел содержит требования к получению характеристик длительных механических свойств материалов. Рассматривается область температур выше температуры T_t.

6.1.2 При испытаниях для определения значений характеристик длительных механических свойств материалов, используемых в расчетах на прочность, следует применять методики измерений, аттестованные в соответствии с ГОСТ Р 8.932.

6.1.3 Организации, занимающиеся лабораторной деятельностью (испытательные лаборатории) по определению характеристик материалов, должны:

- отвечать требованиям к компетентности лабораторий в проведении испытаний, установленным в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025, ГОСТ Р 50.04.01;
- в случае проведения облучения материалов и послереакторных исследований иметь все необходимые разрешения на выполнение данной деятельности, полученные в соответствии с требованиями федерального законодательства в области использования атомной энергии;
- использовать оборудование и приборы, отвечающие требованиям документов по стандартизации на проведение соответствующих испытаний;
- иметь персонал, обладающий компетентностью и навыками, необходимыми для выполняемых им работ в соответствии с ГОСТ Р 50.05.11.

6.1.4 Средства измерений, используемые при испытаниях, должны быть утвержденных типов и поверены организацией, аккредитованной в соответствии с требованиями федерального законодательства в области обеспечения единства измерений на право поверки средств измерений.

Испытательное оборудование, используемое при проведении испытаний, должно быть аттестовано в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.568. При аттестации испытательного оборудования должны быть установлены достаточность комплекса точностных характеристик для оценки влияния условий испытаний на результаты испытаний, а также возможность воспроизведения условий испытаний в заданных диапазонах с допускаемыми отклонениями в течение заданного интервала времени, регламентированных соответствующей методикой испытаний.

6.1.5 Образцы для проведения испытания (заготовки для образцов) следует вырезать из материалов:

- соответствующих требованиям документов по стандартизации на поставку конкретных материалов, проектной конструкторской документации и технологической документации, что должно быть подтверждено сертификатами организаций — изготовителей материалов, и прошедших входной контроль качества;
- термически обработанных в соответствии с документами по стандартизации на поставляемые материалы и/или с требованиями проектной конструкторской документации.

6.1.6 Отбор проб, заготовок для образцов и испытательных образцов для испытаний на растяжение от фасонного, сортового, листового и широкополосного прокатов следует проводить в соответствии с требованиями документов по стандартизации на поставку материалов и/или методик испытаний, соответствующих 6.1.2; в случае отсутствия требований по отбору проб в указанных документах — по ГОСТ Р 53845.

6.1.7 Испытания на ползучесть и определение условного предела ползучести, машины и приборы, применяемые для испытания металлов на ползучесть, формы и размеры образцов должны отвечать требованиям ГОСТ 3248. При испытаниях должны быть определены показатели точности результатов испытаний в соответствии с [2].

6.1.8 Данные испытаний на ползучесть используют для определения эмпирических коэффициентов в уравнении скорости ползучести и для построения изохронных кривых ползучести (приложение Б). На первичных кривых ползучести в координатах «ε—t» выделяют два участка: первая стадия ползучести с затухающей скоростью деформации и вторая стадия ползучести с постоянной минимальной скоростью деформации.

6.1.9 Испытания на длительную прочность, машины, применяемые для испытания металлов и сплавов на длительную прочность, нагревательные устройства и контроль температуры, типы образцов должны отвечать требованиям ГОСТ 10145.

6.1.10 По результатам испытаний на длительную прочность устанавливают зависимости между напряжением и временем до разрушения, выраженные графически в логарифмических координатах.

Среднюю линию длительной прочности в координатах «σ – t» определяют методом наименьших квадратов, используя стандартные методы математической статистики.

В качестве зависимой случайной величины выбирается функция напряжения ($y = \lg \sigma$), независимой — время ($x = \lg t$).

При построении кривых длительной прочности, в частности при определении предела длительной прочности R^T_{mt} экстраполяцией, могут быть использованы другие системы координат.

6.1.11 Пересчет пределов длительной прочности $\overline{R}^T_{mt}$ в истинные напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении $\overline{R}^T_c$ проводят по формуле

$$\overline{R}^T_c = \frac{1}{\left(1 - \frac{Z^T_t}{100}\right)} \cdot \overline{R}^T_{mt}, \qquad (6.1)$$

где Z^T_t — относительное сужение при длительном статическом нагружении за время t при температуре T, %.

6.1.12 С использованием значения относительного сужения определяют значения длительной пластичности (деформации разрушения) ε^T_{ft} по формуле

$$\varepsilon^T_{ft} = -\ln\left(1 - \frac{Z^T_t}{100}\right). \qquad (6.2)$$

6.1.13 Зависимости для учета влияния облучения на значения длительной пластичности и истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении для сталей 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х16Н11М3 и на значения длительной пластичности для стали 07Х12НМФБ приведены в приложении Г.

6.2 Требования к определению характеристик длительных механических свойств конструкционных материалов

6.2.1 Количество образцов при испытаниях одной партии распределяют равномерно по напряжениям, соответствующим временной базе от 10^2 до 10^5 ч, с таким расчетом, чтобы на каждый порядок во времени число уровней напряжений было не менее двух.

Минимальное число испытанных образцов должно составлять 12.

6.2.2 При каждом режиме испытывают не менее двух образцов. Если времена до разрушения образцов, испытанных на одном и том же режиме, различаются между собой более чем в два раза, то проводят дополнительные испытания на двух образцах.

При обработке результатов испытаний учитывают все результаты, полученные при основных и дополнительных испытаниях.

6.2.3 Испытания для получения условного предела ползучести проводят с измерением деформации по ГОСТ 3248.

6.2.4 Испытания образцов проводят при температуре T_1, для которой определяют характеристики длительных механических свойств, и более высокой температуре T_2

$$T_2 = T_1 + 50 \text{ К}. \qquad (6.3)$$

6.2.5 Предлагаемый метод определения характеристик длительных механических свойств материалов допускает экстраполяцию по параметру t в пределах одного порядка, но до напряжений, не меньше минимальных, полученных при испытаниях на длительную прочность при температуре T_2.

6.2.6 Для получения характеристик длительных механических свойств стали или сплава считаются правомерными результаты испытаний, полученные для разных партий, представляющих марку стали или сплава данной категории прочности. Число испытанных партий материала различных плавок должно быть не менее шести.

В число испытуемых включают партии и материал изделий после окончательных технологических операций с содержанием углерода и легирующих элементов и значениями характеристик кратковременных прочности и пластичности в пределах, оговоренных в технических условиях.

6.2.7 При отсутствии прямых испытаний по определению характристик длительных механических свойств материалов допускается использовать данные в соответствии с приложением А с учетом возможного влияния эксплуатационных факторов.

6.2.8 При отсутствии прямых испытаний по определению характеристик длительных механических свойств материала категории прочности ниже приведенной в таблице А.5 приложения А, их пределы длительной прочности определяют по значениям пределов длительной прочности марки стали или сплава категории прочности, указанной в таблице А.5, и их временного сопротивления и условных пределов текучести. Искомое значение принимают минимальным из двух (величин), определяемых по формулам:

$$\frac{\left(R^T_{mt}\right)_2}{\left(R^T_{mt}\right)_1} = \left[\frac{\left(R^T_{p0,2}\right)_2}{\left(R^T_{p0,2}\right)_1}\right]^{1/2}, \tag{6.4}$$

$$\frac{\left(R^T_{mt}\right)_2}{\left(R^T_{mt}\right)_1} = \frac{\left(R^T_{m}\right)_2}{\left(R^T_{m}\right)_1}, \tag{6.5}$$

где индекс 1 — категория прочности, приведенная в таблице А.5 приложения А (категория прочности 1);

индекс 2 — категория прочности, для которой рассчитывают характеристики длительных механических свойств (категория прочности 2);

$(R^T_{mt})_1$, $(R^T_{mt})_2$, $(R^T_{p0,2})_1$, $(R^T_{p0,2})_2$, $(R^T_m)_1$, $(R^T_m)_2$ — соответственно пределы длительной прочности, условный предел текучести и временное сопротивление материала категорий прочности 1 и 2.

Значения требуемых характеристик выбирают по таблице А.5 и ГОСТ Р 59115.3.

Таким же образом значения относительного удлинения A^T_t и сужения Z^T_t при длительном статическом нагружении материала категории прочности 2 допускается определять по известным значениям относительного удлинения (сужения) материала при категории прочности 1, временного сопротивления и условного предела текучести материала категорий прочности 1 и 2. Искомое значение принимают минимальным из двух характеристик, определяемых по формулам:

- для Z^T_t

$$\left(Z^T_t\right)_1 = \left(Z^T_t\right)_2 \left[\frac{\left(R^T_m\right)_2}{\left(R^T_m\right)_1}\right]^5, \quad \left(Z^T_t\right)_1 = \left(Z^T_t\right)_2 \left[\frac{\left(R^T_{p0,2}\right)_2}{\left(R^T_{p0,2}\right)_1}\right]^{3,6}; \tag{6.6}$$

- для A^T_t

$$\left(A^T_t\right)_1 = \left(A^T_t\right)_2 \left[\frac{\left(R^T_m\right)_2}{\left(R^T_m\right)_1}\right]^4, \quad \left(A^T_t\right)_1 = \left(A^T_t\right)_2 \left[\frac{\left(R^T_{p0,2}\right)_2}{\left(R^T_{p0,2}\right)_1}\right]^3, \tag{6.7}$$

где $(Z^T_t)_1$, $(Z^T_t)_2$, $(A^T_t)_1$, $(A^T_t)_2$ — соответственно относительное сужение и удлинение при длительном статическом нагружении материала категорий прочности 1 и 2.

Значения $(A^T_t)_1$ и $(Z^T_t)_1$ принимают по таблице А.3. Для материала категории прочности выше приведенной в таблице А.5 значения R^T_m, $R^T_{p0,2}$, $Z_t{}^T$ и A^T_t выбирают в соответствии с ГОСТ Р 59115.3 и таблицей А.3.

6.2.9 Истинное напряжение при разрыве при длительном статическом нагружении для металла шва сварного соединения R^{TW}_c рассчитывают по значениям истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении R^T_c основного металла по формуле

$$R^{TW}_c = \varphi_S \cdot R^T_c, \tag{6.8}$$

где φ_S — коэффициент снижения длительной прочности и пластичности; принимается согласно таблице 2.

6.2.10 Значения длительной пластичности для металла шва сварного соединения ε^{TW}_{ft} рассчитываются по значениям ε^T_{ft} основного металла по формуле

$$\varepsilon^{TW}_{ft} = \varphi_S \cdot \varepsilon^T_{ft}, \tag{6.9}$$

где φ_S — коэффициент снижения длительной прочности и пластичности; принимается согласно таблице 2.

6.2.11 При контакте элементов (компонентов) оборудования и трубопроводов с натрием реакторной чистоты в расчетах используют расчетные значения характеристик длительных механических свойств определяемые умножением значений R_{mt}^{T}, R_{ct}^{T} на коэффициент снижения прочности от обезуглероживания η_t, зависящий от типа материала, температуры и длительности эксплуатации. Определение значений коэффициента снижения прочности η_t проводится по приложению Д.

Таблица 2 — Значения коэффициентов φ_S при различных температурах T

Основной металл	Метод сварки	Сварочный материал	Вид термообработки после сварки	Температура, °С					
				350	400	450	500	550	600
Стали аустенитного класса	Ручная	48 А-1	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,60	0,50
			Аустенизация	—	—	1,0	0,85	0,70	0,55
		48А-2-ВИ	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,60	0,55
			Аустенизация	—	—	0,8	0,70	0,55	0,45
		ЭА400/10У	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,60	0,50
			Аустенизация	—	—	0,8	0,70	0,60	0,55
	Аргонодуговая	Св-04Х17Н10М2	Без термообработки	—	—	0,9	0,80	0,70	0,60
			Аустенизация	—	—	1,0	0,90	0,75	0,65
		Св-02Х17Н10М2-ВИ	Без термообработки	—	—	0,9	0,80	0,70	0,65
			Аустенизация	—	—	0,9	0,80	0,65	0,55
		СВ-04Х19Н11М3	Без термообработки	—	—	1,0	0,85	0,70	0,55
			Аустенизация	—	—	1,0	0,85	0,70	0,60
		ЭП-198	Без термообработки	—	—	0,5	0,45	0,40	0,40
			Аустенизация	—	—	0,5	0,50	0,45	0,45
	Автоматическая	Св-04Х17Н10М2	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,55	0,45
			Аустенизация	—	—	1,0	–	–	–
		Св-02Х17Н10М2-ВИ	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,60	0,50
			Аустенизация	—	—	0,8	0,70	0,55	0,45
		Св-04Х19Н11М3	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,60	0,50
			Аустенизация	—	—	0,8	0,70	0,60	0,55
	Электрошлаковая	Св-04Х17Н10М2	Без термообработки	—	—	0,7	0,70	0,55	0,45
			Аустенизация	—	—	1,0	0,85	0,70	0,55
		Св-04Х19Н11М3	Без термообработки	—	—	0,8	0,70	0,55	0,45
			Аустенизация	—	—	0,9	0,80	0,65	0,55
Железо-никелевые дисперсионно-твердеющие сплавы	Аргонодуговая	Св-Х15Н35	Без термообработки	—	—	0,7	0,65	0,55	0,50
			Аустенизация	—	—	0,8	0,70	0,60	0,55
		ЭП-198	Без термообработки	—	—	0,5	0,45	0,40	0,40
			Аустенизация	—	—	0,5	0,50	0,45	0,45
Сталь 12Х2М	Ручная	48Н-10 48А-1	Высокий отпуск	1,0	0,80	0,7	0,60	0,55	0,50
			Без термообработки	1,0	0,85	0,7	—	—	—
		ЭА-395/9	Высокий отпуск	1,0	0,80	0,6	—	—	—
		48А-1, КТИ-7	Без термообработки	—	—	—	0,60	0,55	0,50
			Высокий отпуск	—	—	—	0,50	0,40	0,30
	Автоматическая под флюсом	Св-04Х2МА	Высокий отпуск	0,7	0,65	0,6	0,60	0,55	0,55

Окончание таблицы 2

Основной металл	Метод сварки	Сварочный материал	Вид термообработки после сварки	Температура, °С					
				350	400	450	500	550	600
Стали 12Х1МФ, 15Х1МФ	Ручная	Н-6	Высокий отпуск	1,0	0,8	0,75	0,75	0,75	—
	Аргоно-дуговая	Св-08ХМФА	Высокий отпуск	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	—

6.3 Метод экстраполяции пределов длительной прочности

6.3.1 Метод предназначен для получения пределов длительной прочности для заданного уровня вероятности разрушения P материалов для сроков службы до $5 \cdot 10^5$ ч по данным испытаний на длительную прочность ограниченной продолжительности с учетом 6.2.5 и 6.2.7. Реализация метода основана на определении при температуре T_1 разрушающего напряжения $R_{mt}^{T_1}$ за время $t_K^{T_1}$ по n^{T_1} опытам, проведенным при температуре T_1, и n^{T_2} опытам, проведенным при температуре T_2.

При обработке экспериментальных данных (определении кривых длительной прочности при температурах T_1 и T_2) используются опыты продолжительностью более 200 ч.

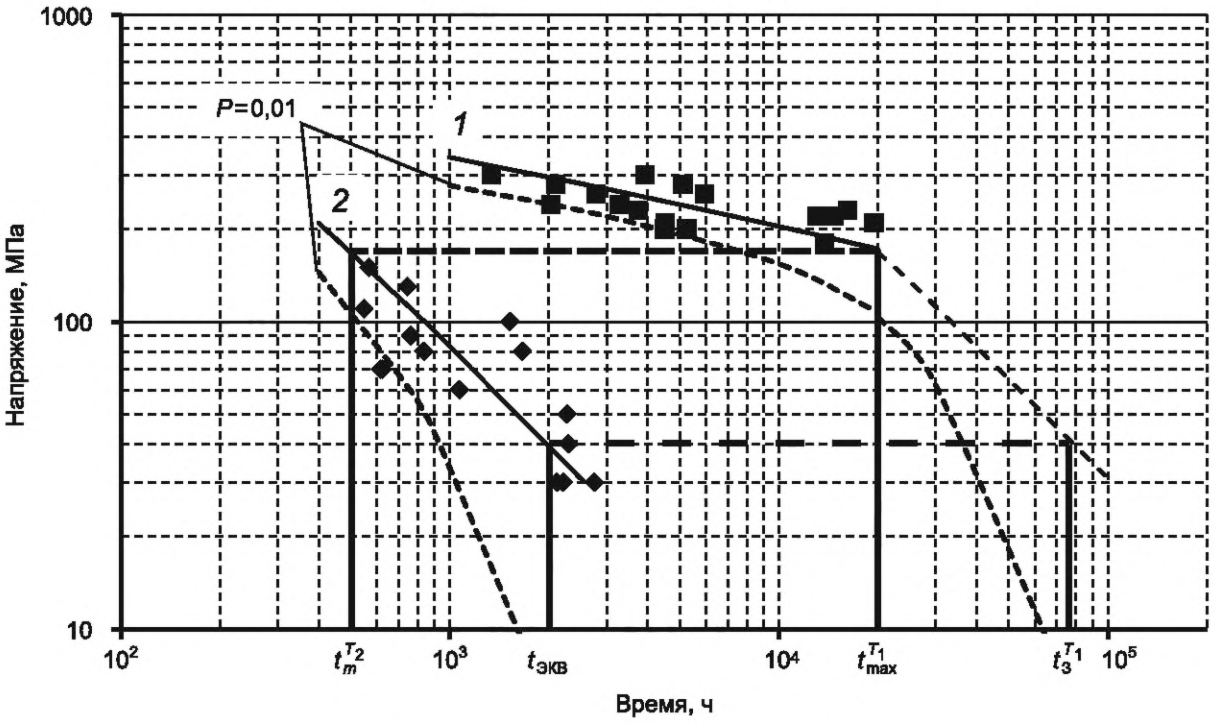
6.3.2 Зависимость разрушающего напряжения $R_{mt}^{T_j}$ от времени $t_K^{T_j}$ при температуре T_j (j = 1, 2) описывается функцией по формуле

$$\lg R_{mt}^{T_j} = a_1^{T_j} + b_1^{T_j} \cdot \left(\lg t_K^{T_j}\right)^{3/2}, \qquad (6.10)$$

где $a_1^{T_j}$, $b_1^{T_j}$ — постоянные коэффициенты, получаемые методом наименьших квадратов.

6.3.3 Для пояснения метода и принятых обозначений на рисунке 1 приведен способ его графической реализации.

Результаты испытаний на длительную прочность при температурах T_1 и T_2 на рисунке 1 изображены в виде точек в системе координат «lg σ — lg t».



1 — испытания при T_1; *2* — испытания при T_2

Рисунок 1 — Кривые длительной прочности

6.3.4 По экспериментальным точкам методом наименьших квадратов проводят средние линии длительной прочности при температурах T_1 и T_2, которые изображаются в общем случае криволиней-

ными отрезками. Кривая *1* (см. рисунок 1) соответствует температуре испытания T_1, кривая *2* (см. рисунок 1) — T_2.

6.3.5 Для максимального времени испытания $t_{\max}^{T_1}$ при температуре T_1 по кривой *1* определяется напряжение $\sigma_{\min}^{T_1}$ и по кривой *2* соответствующее этому напряжению время $t_m^{T_2}$.

6.3.6 Экстраполированную кривую длительной прочности при температуре T_1 и напряжениях, меньших $\sigma_{\min}^{T_1}$, получают переносом кривой при T_2 вправо на расстояние $\Delta \lg t^{(T_1,T_2)}$. При этом

$$\Delta \lg t^{(T_1,T_2)} = \lg t_{\max}^{T_1} - \lg t_m^{T_2} = \lg \gamma_{\text{д.п}}, \tag{6.11}$$

где $\lg \gamma_{\text{д.п}}$ — коэффициент экстраполяции.

6.3.7 Предел длительной прочности при температуре T_1 и заданном времени $t_3^{T_1}$ определяется по кривой *2* при эквивалентном времени $t_{\text{экв}}$. При этом

$$t_{\text{экв}} = t_3^{T_1}/\gamma_{\text{д.п}}. \tag{6.12}$$

6.3.8 Все вычисления по данному методу экстраполяции проводятся в следующей последовательности: определение коэффициентов уравнения (6.10) с использованием стандартных процедур метода наименьших квадратов; вычисление коэффициента экстраполяции $\gamma_{\text{д.п}}$ по формуле (6.11), времени $t_m^{T_2}$ из уравнения

$$\lg t_m^{T_2} = \left(\frac{\lg \sigma_{\min}^{T_1} - a_1^{T_2}}{b_1^{T_2}} \right)^{2/3}; \tag{6.13}$$

определение экстраполированного предела длительной прочности при температуре T_1 и заданном ресурсе $t_3^{T_1}$ по формуле

$$\lg R_{mt}^{T_1} = a_1^{T_2} + b_1^{T_2} \cdot \left(\lg \frac{t_3^{T_1}}{\gamma_{\text{д.п}}} \right)^{3/2}. \tag{6.14}$$

6.3.9 Значения экстраполированного предела длительной прочности $R_{mt_3P}^{T_1}$ при температуре T_1 для заданной вероятности разрушения P рассчитывают по формуле

$$\lg R_{mt_3P}^{T_1} = \lg R_{mt}^{T_1} + Z_P \cdot S_\sigma, \tag{6.15}$$

где Z_P — квантиль уровня P стандартного нормального распределения R_{mt}^{T}, определяемый согласно таблице 3 при $n^{T_1} \geq 12$ и $n^{T_2} \geq 12$;

S_σ — выборочное среднеквадратичное отклонение.

Таблица 3 — Квантиль Z_P уровня P стандартного нормального распределения

P	0,010	0,025	0,050	0,100	0,500
Z_P	–2,33	–1,96	–1,64	–1,28	0,00

Выборочное среднеквадратичное отклонение S_σ вычисляют по формуле

$$S_\sigma = \left[\frac{\left(n^{T_1} - 2\right) \cdot S_1^2 + \left(n^{T_2} - 2\right) \cdot S_2^2}{n^{T_1} + n^{T_2} - 4} \right]^{1/2}, \tag{6.16}$$

где

$$S_j^2 = \frac{1}{n^{T_j} - 2} \left[\sum_{i=1}^{n^{T_j}} \left[\lg R_{mt_i}^{T_j} - a_1^{T_j} - b_1^{T_j} \left(\lg t_i^{T_j} \right)^{3/2} \right]^2 \right]; \quad j = 1, 2. \tag{6.17}$$

6.3.10 Среднее значение предела длительной прочности $\overline{R}_{mt}^{T}$ определяют для вероятности разрушения $P = 0{,}5$ ($Z_P = 0$, $Z_{st} = 0$).

6.3.11 Границы доверительного интервала для линии регрессии предела длительной прочности $\overline{R}^T_{mt}$ рассчитывают по формуле

$$\lg \overline{R}^T_{mt} = \lg \overline{R}^T_{mt} \pm Z_{st} S_\sigma \cdot \sqrt{f' \left(J' J\right)^{-1} f}, \tag{6.18}$$

где f — вектор-столбец первых частных производных функции по формуле (6.10) по параметрам a и b;

J — матрица значений первых частных производных по параметрам a и b;

Z_{st} — квантиль уровня P распредения Стьюдента для $(n - m)$ степеней свободы [при использовании функции по формуле (6.10) $m = 2$, $n = 2 \cdot \min (n^{T_1}; n^{T_2})$, рекомендуется P = 0,01].

6.3.12 Уточненную оценку минимального значения предела длительной прочности R^T_{mt} для вероятности разрушения P проводят по формуле

$$\lg \overline{R}^{T_1}_{mt_3 P} = \lg R^{T_1}_{mt} - Z_{st} S_\sigma \cdot \sqrt{1 + f' \left(J' J\right)^{-1} f}, \tag{6.19}$$

где знак «′» обозначает транспонирование вектора или матрицы, знак «$^{-1}$» обозначает обратную матрицу.

6.3.13 Вектор столбец первых частных производных функции по формуле (6.10) определяют в виде

$$f = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial a_1} \\ \dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial b_1} \end{bmatrix}. \tag{6.20}$$

6.3.14 Для формулы (6.10) вектор f будет иметь вид

$$f = \begin{bmatrix} 1 \\ \left(\lg t^T_K\right)^{3/2} \end{bmatrix}. \tag{6.21}$$

6.3.15 Матрицу значений первых частных производных (размерность $n \times 2$) по параметрам a и b определяют в виде

$$J = \begin{bmatrix} \left.\dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial a_1}\right|_{t^T_K = t^T_1} & \left.\dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial b_1}\right|_{t^T_K = t^T_1} \\ \cdots & \cdots \\ \left.\dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial a_1}\right|_{t^T_K = t^T_n} & \left.\dfrac{\partial \lg R^T_{mt}}{\partial b_1}\right|_{t^T_K = t^T_n} \end{bmatrix}, \tag{6.22}$$

где n — количество точек при одной температуре.

6.3.16 Для формулы (6.10) матрица J будет иметь вид

$$J = \begin{bmatrix} 1 & \left(\lg t^T_1\right)^{3/2} \\ \cdots & \cdots \\ 1 & \left(\lg t^T_n\right)^{3/2} \end{bmatrix}. \tag{6.23}$$

6.3.17 Среднее и минимальное значение предела длительной прочности $\overline{R}^T_{mt}$ и R^T_{mt} определяют для вероятности разрушения P = 0,5 и 0,01 соответственно. При отсутствии экспериментальных значений допускается определять средние и минимальные значения предела длительной прочности методом экстраполяции, используя в формулах (6.10)—(6.15) соответствующие значения пределов длительной прочности R^T_{mt} с квантилем $Z_P = 0$, $Z_{st} = 0$.

6.3.18 Приведенный выше способ экстраполяции основан на параметре Ларсена—Миллера. Ниже дано математическое пояснение приведения испытаний при температуре T_2 к температуре T_1.

6.3.19 Испытания, проведенные при температуре T_2, приводят к температуре T_1 по формуле

$$t_3^{T_1} = 10^{\frac{T_2\left(C+\lg t_K^{T_2}\right)}{T_1} - C}, \quad (6.24)$$

где t — время до разрушения, ч;

T_1, T_2 — температура испытаний, К.

6.3.20 Константу C определяют по формуле

$$C = \frac{T_1 \cdot \lg t_{\max}^{T_1} - T_2 \cdot \lg t_m^{T_2}}{T_2 - T_1}, \quad (6.25)$$

где t — время до разрушения, ч;

T_1, T_2 — температура испытаний, К.

6.3.21 Приведенные в соответствии с формулой (6.24) к температуре T_1 точки обрабатывают зависимостью вида по формуле (6.10).

6.4 Метод экспраполяции условных пределов ползучести

6.4.1 Прогнозирование кривых ползучести может проводиться на основе экстраполяции пределов ползучести с применением процедур, используемых в методе экспраполяции длительной прочности (см. подраздел 6.3).

6.4.2 Для прогнозирования условных пределов ползучести проводят испытания на ползучесть для каждой партии материала при температурах T_1 и $T_2 = T_1 + 50$ К (°С).

По результатам испытаний на ползучесть строят кривые деформирования (первичные кривые ползучести) в координатах «ε—t» в соответствии с ГОСТ 3248. По кривой ползучести находят t_3, соответствующую заданному остаточному удлинению.

6.4.3 Для каждой партии материала, испытанной при темпертурах T_1 и T_2, строят кривые ползучести в координатах «$\lg t_3$ — $\lg \sigma$», по которым определяют условный предел ползучести и для которых используют метод экстраполяции, изложенный в настоящем разделе.

6.4.4 Условные пределы ползучести определяют заменой по формулам (6.10)—(6.23) предела длительной прочности условных пределом ползучести, времени до разрушения — временем достижения заданной деформации A_3, $\gamma_{д.п}$–$\gamma_п$, при этом коэффициент $\gamma_п$ определяют по максимальному времени достижения заданной деформации A_3 с помощью процедур, аналогичных описанным для метода экспраполяции предела длительной прочности в подразделе 6.3.

6.4.5 Уравнение для аппроксимации кривых условных пределов ползучести при температуре T_j (j = 1, 2) имеет вид

$$\lg R_{ct_{A_3}} = a^{T_j} + b^{T_j} \cdot \left(\lg t_{A_3}^{T_j}\right)^{3/2}, \quad (6.26)$$

где a^{T_j}, b^{T_j} — коэффициенты.

6.5 Метод прогнозирования относительного удлинения и длительной пластичности

6.5.1 Метод предназначен для получения значений относительного удлинения и длительной пластичности при длительном статическом нагружении для заданного уровня вероятности разрушения P = 0,5 материалов для сроков службы до $5 \cdot 10^5$ ч по имеющимся данным либо по значениям, приведенным в приложении А.

6.5.2 Реализация метода возможна при линейной или близкой к линейной зависимости между логарифмом первоначально приложенного напряжения $\overline{R}_{mt}^T$ и логарифма отношения $\lg (A_t^T/t)$ или $\lg (\varepsilon_{ft}^T/t)$. Прогнозное значение относительного удлинения на заданной временной базе получают путем экстраполяции линейной зависимости до заданного времени, начиная с временной базы 10^4 ч.

6.5.3 Для пояснения метода на рисунке 2 приведена его графическая реализация.

6.5.4 По имеющимся значениям относительного удлинения на временной базе свыше 10^4 ч методом наименьших квадратов определяют коэффициенты аппроксимирующего уравнения a^T и b^T по формуле

$$\lg \overline{R}_{mt}^T = a^T \cdot \lg\left(\frac{A_t^T}{t}\right) + b^T. \quad (6.27)$$

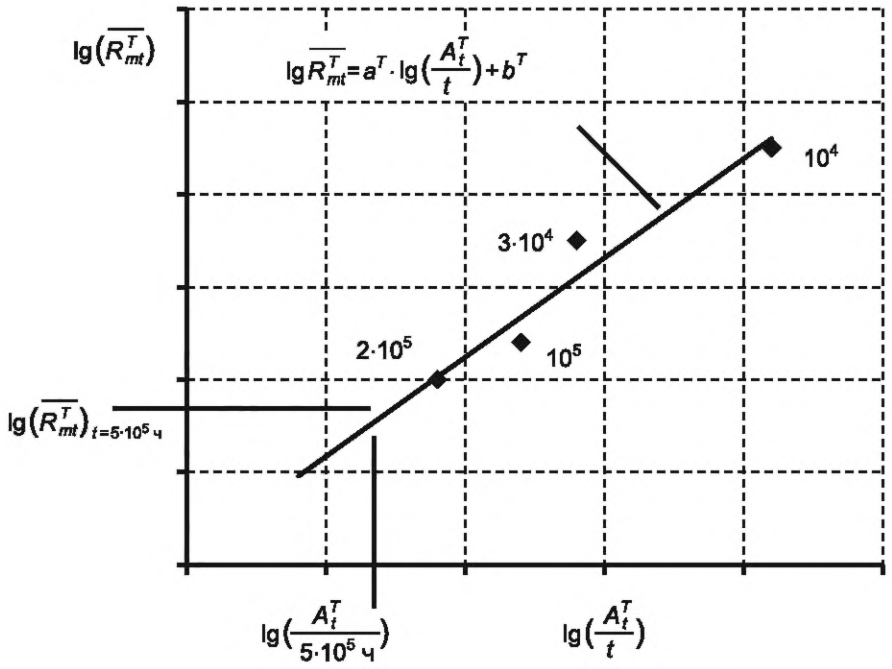


Рисунок 2 — Графическое представление метода прогнозирования относительного удлинения

6.5.5 Экстраполируя зависимость (6.27) с полученными коэффициентами a^T и b^T получают значения относительного удлинения при длительном статическом нагружении на необходимой временной базе (не более $5 \cdot 10^5$ ч).

6.5.6 Если спрогнозированное значение превышает исходное значение при наибольшей временной базе, то в качестве спрогнозированного значения принимают значение A_T^t по формуле

$$\lg A^T_{5\cdot10^5} = \lg A^T_{2\cdot10^5} - 2\cdot\left|\lg A^T_{1\cdot10^5} - \lg A^T_{2\cdot10^5}\right|. \quad (6.28)$$

6.5.7 В качестве окончательного прогнозного значения длительного относительного удлинения выбирают минимальное из значений, полученных по формулам (6.27) и (6.28).

6.5.8 Аналогичный подход используется при прогнозировании длительной пластичности ε_{ft}^T.

Приложение А
(справочное)

Значения пределов длительной прочности, относительного удлинения и относительного сужения на различных временных базах

Таблица А.1 — Средние значения пределов длительной прочности $\overline{R}^{T}_{mt}$, МПа

Марка стали, сплава	$R^{20}_{p0,2}$, МПа	R^{20}_{m}, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
10Х2М	≥245	≥392	450	372	353	333	314	294	274	255	225	196	186	—
			500	353	313	284	255	216	186	157	137	118	108	—
			510	319	289	261	234	201	172	145	126	108	99	—
10Х2М1ФБ	≥196	≥343	400	333	319	304	297	284	268	235	212	186	167	—
			450	333	314	299	294	269	250	225	201	176	167	—
			500	250	230	201	181	162	147	132	122	108	98	—
			550	216	196	167	147	127	113	98	83	78	70	—
12МХ	≥225	≥411	500	368	368	353	328	299	274	207	174	135	114	—
15ХМ	≥235	≥441	500	412	402	372	348	314	260	217	183	142	120	—
20ХМЛ	≥245	≥441	500	412	402	372	348	314	289	217	183	142	120	—
20ХМФЛ	≥294	≥490	500	441	412	382	348	304	265	225	196	161	144	—
12Х1МФ[2]	≥274	≥441	450	353	343	323	303	289	268	245	227	196	186	180
			500	353	343	323	304	279	260	216	186	147	137	132
			550	205	192	175	162	148	132	116	104	91	84	78
15Х1М1Ф[3]	≥314	≥490	450	383	367	363	328	300	286	250	244	220	215	210
			500	363	343	333	314	288	270	240	225	186	164	150
			550	260	242	210	201	182	160	150	122	107	95	87
15Х1М1ФЛ	≥314	≥490	500	363	343	333	314	288	270	240	225	196	184	—
25Х1МФ	≥590	≥736	500	587	549	472	392	325	281	255	212	167	—	—
16ГНМА	≥323	≥490	400	490	490	490	478	470	442	420	380	350	320	—
			450	437	433	428	419	406	379	339	295	242	212	—
			500	401	383	353	316	273	229	181	139	100	80	—
09Х18Н9	≥196	≥490	450	360	360	360	359	341	333	315	290	260	248	—
10Х18Н9			500	360	342	333	314	285	255	238	209	190	180	—

Продолжение таблицы А.1

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
12Х18Н9	≥196	≥490	550	322	313	290	274	237	200	170	152	133	122	—
			600	266	257	231	194	166	152	120	100	85	76	—
08Х18Н10Т	≥196	≥490	500	374	353	333	323	309	284	255	243	201	186	—
			550	324	304	294	266	245	208	178	144	120	108	—
			600	276	255	226	201	167	142	117	98	93	83	—
12Х18Н10Т	≥216	≥529	450	372	372	372	372	372	372	372	372	333	314	—
12Х18Н12Т			500	372	352	333	323	314	284	255	225	196	186	—
			550	353	333	314	294	265	235	201	171	149	140	137
			600	314	284	255	240	216	186	157	127	108	97	93
12Х18Н12М3ТЛ	≥216	≥491	500	284	280	274	270	267	235	216	186	176	162	—
03Х16Н9М2 и ее	≥200	≥520	450	491	477	466	456	418	391	364	339	319	306	—
сварные			500	463	432	404	378	351	325	298	274	247	233	—
соединения			550	443	411	379	315	306	274	237	203	174	158	—
(электрод ЦТ-46)			600	388	352	310	273	237	205	172	142	114	101	—
08Х16Н11М3	≥196	≥510	450	372	372	372	372	372	353	343	314	294	284	—
			500	372	372	372	343	323	304	284	245	220	196	—
			550	332	304	274	260	245	230	216	191	167	157	—
			600	265	240	216	196	167	157	137	110	108	96	—
10Х17Н13М2Т	≥196	≥510	500	304	284	265	250	235	216	201	176	157	147	—
			550	255	235	216	196	176	162	147	129	118	108	—
			600	221	203	186	167	152	132	113	98	83	77	—
ХН35ВТ	≥392	≥736	450	637	637	637	637	637	637	625	568	549	530	—
			500	637	588	549	529	500	480	451	412	343	323	—
			550	539	529	490	470	441	417	372	333	304	284	—
			600	431	412	392	363	343	314	294	250	216	196	—
06Х20Н46Б	≥196	≥520	550	353	333	314	294	265	235	201	171	149	137	—
09Г2С	≥245	≥432	400	416	392	363	347	317	287	254	223	191	173	—
			450	319	290	259	229	198	171	143	120	97	85	—

Продолжение таблицы А.1

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1)], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
			500	219	192	164	139	116	96	77	62	48	48	—
Zr + 2,5 % Nb	≥294	≥392	300	314	301	289	276	265	255	245	225	206	196	—
			325	304	294	284	265	245	228	212	196	181	172	—
			350	284	267	250	232	216	198	181	164	147	137	—
ПТ-3В			20	637	632	622	614	605	598	588	—	—	583	—
			150	524	524	519	517	515	514	510	—	—	505	—
			250	470	470	470	470	470	470	461	—	—	451	—
			350	451	451	451	451	441	441	431	—	—	431	—
ПТ-7М			20	446	436	426	421	412	407	402	—	—	387	—
			150	348	343	333	328	319	314	304	—	—	304	—
			350	304	304	304	304	304	304	294	—	—	294	—
САВ-1			80	143	139	134	130	126	122	118	115	111	—	—
			100	136	132	127	123	118	114	110	106	102	—	—
			150	112	105	98,8	93,2	87,4	82,5	77,4	73	68,5	—	—
			200	94	87,4	75,8	66,6	57,8	50,8	44	—	—	—	—
03Х21Н32М3Б	≥216	≥539	500	587	587	587	573	573	560	560	511	511	—	—
			550	495	495	495	483	456	404	339	313	287	—	—
07Х12НМФБ	≥420	≥580	450	483	476	467	460	454	445	437	431	420	413	411
			500	429	414	398	367	339	313	285	261	236	221	213
			550	352	324	294	267	241	217	191	170	147	134	128
			600	258	232	204	181	157	135	114	96	80	70	65
20Х1М1Ф1ТР	≥666	≥784	450	722	693	666	630	600	570	540	512	487	460	—
			500	597	567	535	506	474	446	415	388	360	340	—
			550	480	450	420	390	357	328	297	270	240	220	—
1Х16Н36МБТЮР	≥392	≥785	500	884	850	824	808	794	768	612	579	519	500	—
09Х16Н15М3Б	≥245	≥540	550	472	449	431	412	372	—	—	—	—	—	—
			600	432	392	355	328	294	—	—	—	—	—	—
04Х18Н10	≥157	≥441	500	304	284	265	250	235	216	201	176	157	147	—

Окончание таблицы А.1

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
03Х18Н11	≥196	≥510	550	255	235	216	196	176	162	147	129	118	108	—
10Х12В2МФ	≥392	≥588	500	350	322	300	272	250	230	215	195	175	167	—
1Х12В2МФ			550	275	251	230	210	190	172	157	142	129	120	—
10Х9МФБ	≥450	≥600	500	400	—	351	—	305	—	262	—	224	213	—
			550	286	—	245	—	208	—	176	—	147	139	—
			600	203	—	171	—	143	—	119	—	98	92	—
	≥350	≥500	500	330	—	298	—	266	—	236	—	206	197	—
			550	253	—	223	—	193	—	163	—	134	125	—
			600	188	—	158	—	129	—	104	—	82	77	—

[1] Температура в Кельвинах определяется по формуле $T(\text{К}) = T(°\text{С}) + 273$.

[2] Прогнозируемые значения на временной базе $5 \cdot 10^5$ ч: $\overline{R}_{mt}^{450}$ = 172 МПа, $\overline{R}_{mt}^{500}$ = 120 МПа, $\overline{R}_{mt}^{550}$ = 61 МПа.

[3] Прогнозируемые значения на временной базе $5 \cdot 10^5$ ч: $\overline{R}_{mt}^{450}$ = 202 МПа, $\overline{R}_{mt}^{500}$ = 125 МПа, $\overline{R}_{mt}^{550}$ = 71 МПа.

Таблица А.2 — Средние значения пределов длительной прочности сварочных материалов $\overline{R}_{mt}^{TW}$, МПа

Марка стали, сплава	Температура[1], °С	Время, ч									
		10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$
Электрод для ручной дуговой сварки 48А-1	450	323	323	323	323	323	323	323	309	294	274
	500	294	291	289	286	284	274	265	232	200	171
	530	274	271	270	257	245	232	220	198	176	157
	600	274	250	225	198	171	152	132	120	108	98
Электрод для ручной дуговой сварки 48А-2	450	323	323	323	323	323	323	323	309	294	274
	500	294	291	289	286	284	274	265	232	200	180
	530	274	270	265	255	245	235	225	200	176	157
	600	225	215	206	183	162	139	118	103	88	78

[1] Температура в Кельвинах определяется по формуле $T(\text{К}) = T(°\text{С}) + 273$.

Таблица А.3 — Средние значения относительного удлинения A_t^T и относительного сужения Z_t^T при длительном статическом нагружении материалов

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Характеристики пластичности	Время, ч										
					10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
15ХМ	≥235	≥441	450	A_t^T, %	30	30	30	30	30	30	29	26	22	20	—
				A_t^T, %	70	70	70	70	70	70	65	51	40	34	—
12МХ	≥235	≥411	500	A_t^T, %	34	34	34	31	24	18	16	18	26	36	—
				Z_t^T, %	70	70	70	59	42	33	28	30	35	44	—
12Х2М	≥255	≥451	450	A_t^T, %	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	—
				Z_t^T, %	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	—
			500	A_t^T, %	22	23	25	25	25	25	23	19	16	14	—
				Z_t^T, %	70	70	70	70	70	69	62	58	50	45	—
12Х1МФ	≥274	≥441	400	A_t^T, %	—	—	27	—	27	—	22	—	11	9	7,5
				Z_t^T, %	—	—	70	—	68	—	55	—	37	30	25
			450	A_t^T, %	—	—	28	—	28	—	23	—	12	10	8,5
				Z_t^T, %	—	—	75	—	73	—	57	—	38	31	27
			500	A_t^T, %	30	30	30	30	30	29	25	20	14	11	9,5
				Z_t^T, %	80	80	80	80	80	72	60	50	40	33	28
			550	A_t^T, %	—	—	30	—	30	—	25	—	14	11	9
				Z_t^T, %	—	—	80	—	80	—	62	—	43	36	32
15Х1М1Ф	≥314	≥490	400	A_t^T, %	—	—	21	—	24	—	18	—	9	7	5,5
				Z_t^T, %	—	—	75	—	70	—	54	—	31	25	21
15Х1М1Ф	≥314	≥490	450	A_t^T, %	—	—	25	—	22	—	19	—	10	8	6
				Z_t^T, %	—	—	82	—	77	—	57	—	33	27	23
15Х1М1Ф	≥314	≥490	500	A_t^T, %	20	21	23	25	26	25	20	15,5	11	8,5	—
				Z_t^T, %	82	85	85	85	80	73	60	49	36	29	24
			550	A_t^T, %	—	—	26	—	23	—	20	—	11	8,5	6,5
				Z_t^T, %	—	—	85	—	82	—	63	—	39	33	29
12Х18Н10Т 12Х18Н12Т 08Х18Н10Т	≥216	≥529	550	A_t^T, %	22	17	14	12	10,5	9	8	7,5	7	6,5	—
				Z_t^T, %	34	29	24	21	18	16	14	14	14	14	—
			600	A_t^T, %	16	13	11	9,5	8,5	7,5	6,5	6,5	7	6,5	—
				Z_t^T, %	40	32	26	21	17	17	17	18	20	21	—

Продолжение таблицы А.3

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1)], °С	Характеристики пластичности	Время, ч										
					10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
20ХМЛ	≥245	≥441	500	A_t^T, %	30	27	20	11	7	6	6,5	9	18	24	—
				Z_t^T, %	45	45	43	32	20	13	10	13	25	32	—
20ХМФЛ	≥294	≥490	500	A_t^T, %	25	25	25	25	25	23	17	12	8	6	—
				Z_t^T, %	65	65	65	65	65	52	40	32	24	20	—
15Х1М1ФЛ	> 314	≥490	500	A_t^T, %	16	17	19	20	20	20	16	12	9	7	—
				Z_t^T, %	60	60	60	60	60	55	40	30	22	18	—
05Х12Н2М-ВИ	≥372	≥539	450	A_t^T, %	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	—
				Z_t^T, %	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	—
			500	A_t^T, %	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	—
				Z_t^T, %	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	—
05Х12Н2М-ВИ	≥372	≥539	550	A_t^T, %	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	—
				Z_t^T, %	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	—
12Х18Н9	≥196	≥490	500	A_t^T, %	28	25	21	16	15	14	12	11	9	8	—
				Z_t^T, %	44	38	33	29	25	22	19	17	14	13	—
			550	A_t^T, %	29	24	20	17	14	12	10	10	10	10	—
				Z_t^T, %	46	40	34	30	26	23	16	16	16	16	—
			600	A_t^T, %	22	18	17	22	27	24	15	10	7	5	—
				Z_t^T, %	40	33	31	34	42	32	23	16	11	9	—
ХН35ВТ	≥392	≥736	500	A_t^T, %	13	10	9	7	5	4,5	4	3,5	3	3	—
				Z_t^T, %	18	15	13	10	7,5	7	6	5	4,5	4,5	—
			550	A_t^T, %	13	10	8	6	5	4	3	3	3	3	—
				Z_t^T, %	18	15	12	9	7,5	6	4.5	4,5	4,5	4,5	—
			600	A_t^T, %	15	11	9	6	5	4	4	4	4	4	—
				Z_t^T, %	22	16	13	9	7	6	6	6	6	6	—
10Х2М1ФБ	≥196	≥343	400	A_t^T, %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	—
				Z_t^T, %	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	—
			450	A_t^T, %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	—
				Z_t^T, %	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	—

Продолжение таблицы А.3

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Характеристики пластичности	Время, ч										
					10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
10Х2М1ФБ	≥196	≥343	500	A_t^T, %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	—
				Z_t^T, %	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	—
10Х2М1ФБ	≥196	≥343	550	A_t^T, %	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	—
				Z_t^T, %	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	—
08Х16Н11М3	≥196	≥510	550	A_t^T, %	32	32	32	32	32	27	27	27	27	27	—
				Z_t^T, %	35	35	35	35	34	32	32	32	32	32	—
			600	A_t^T, %	33	33	33	33	33	33	28	25	21	19	—
				Z_t^T, %	36	36	36	36	36	36	35	30	24	22	—
03Х16Н9М2	≥200	≥520	450	A_t^T, %	—	—	—	38,5	33,5	30,5	27,5	25,5	24,0	23,0	—
			500	A_t^T, %	41,0	37,0	33,0	30,5	27,5	26,0	24,5	23,0	22,0	21,5	—
			550	A_t^T, %	34,0	29,5	28,5	26,5	25,0	24,0	22,5	22,0	22,0	21,5	—
			600	A_t^T, %	29,5	28,0	26,0	25,0	24,0	23,5	23,0	23,5	24,5	25,0	—
			650	A_t^T, %	27,0	26,0	25,0	24,5	24,5	25,0	26,0	28,0	30,5	33,5	—
10Х2М	≥245	≥392	450	A_t^T, %	17	17	16	13	13	16	16	20	20	20	—
				Z_t^T, %	50	50	50	50	50	50	50	50	40	33	—
			500	A_t^T, %	18	18	16	16	15	15	16	16	16	16	—
				Z_t^T, %	50	50	50	50	50	50	50	50	40	33	—
			510	A_t^T, %	18	18	16	16	15	15	16	16	16	16	—
				Z_t^T, %	50	50	50	50	50	50	50	50	40	33	—
12ХМ	≥235	≥441	500	A_t^T, %	34	34	34	34	24	18	16	18	26	26	—
				Z_t^T, %	70	70	59	42	33	28	30	35	37	44	—
			550	A_t^T, %	26	22	20	20	21	23	27	33	40	44	—
				Z_t^T, %	59	46	34	30	29	31	36	40	46	50	—
09Х18Н9	≥196	≥490	500	A_t^T, %	28	25	21	16	15	14	12	11	9	8	—
				Z_t^T, %	44	38	33	29	25	22	19	17	14	13	—
			550	A_t^T, %	29	24	20	17	14	12	10	10	10	10	—
				Z_t^T, %	46	40	34	30	26	23	16	16	16	16	—
			600	A_t^T, %	22	18	17	22	27	24	15	10	7	5	—

Продолжение таблицы А.3

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Характеристики пластичности	Время, ч										
					10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
				Z_t^T, %	33	31	34	42	32	23	16	13	17	9	—
09Г2С	≥245	≥432	400	A_t^T, %	29	32	34	36	37	38	37	36	31	32	—
				Z_t^T, %	44	46	48	52	52	52	51	49	46	44	—
			450	A_t^T, %	54	51	48	46	43	40	37	34	30	28	—
				Z_t^T, %	67	64	60	57	54	50	46	42	38	36	—
			500	A_t^T, %	53	52	51	50	50	49	49	49	49	49	—
				Z_t^T, %	62	62	59	56	53	50	47	43	39	37	—
16ГНМА	≥323	≥490	450	A_t^T, %	26	23	21	18	15	12	10	7	5	4	—
				Z_t^T, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ПТ-3В			20	Z_t^T, %	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
			150	Z_t^T, %	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
			250	Z_t^T, %	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
			350	Z_t^T, %	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
ПТ-7М			20	Z_t^T, %	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
			150	Z_t^T, %	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
			350	Z_t^T, %	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
САВ-1			80	A_t^T, %	12,2	—	7,3	—	4,3	3,0	2,6	—	1,5	—	—
				Z_t^T, %	31	—	29	—	26	25	24	—	22	—	—
07Х12НМФБ	≥420	≥580	450—600	Z_t^T, %	70	70	70	70	70	70	55	38	23	17	15
20Х1М1Ф1ТР	≥666	≥784	450	A_t^T, %	10	8,5	7	6	6	6,5	8	8	8	8	—
				Z_t^T, %	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	—
			500	A_t^T, %	10	8,5	7	6	6	6,5	8	8	8	9	—
				Z_t^T, %	71	69	69	69	69	67,5	66,5	65	64	63	—
			550	A_t^T, %	11	11	10	10	10	9	8	7,5	6	5	—
				Z_t^T, %	79	75	75	72,5	69,5	67	63,5	60	57	55	—
10Х9МФБ	≥350	≥500	500	A_t^T, %	—	—	—	—	18	—	17	—	15	15	—
				Z_t^T, %	—	—	—	—	80	—	77	—	75	74	—
			550	A_t^T, %	—	—	—	—	21	—	18	—	15	14	—

Окончание таблицы А.3

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^{20}$, МПа	R_m^{20}, МПа	Температура[1], °С	Характеристики пластичности	Время, ч										
					10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
10Х9МФБ	≥350	≥500		Z_t^T, %	—	—	—	—	86	—	84	—	82	81	—
			600	A_t^T, %	—	—	—	—	24	—	20	—	15	13	—
				Z_t^T, %	—	—	—	—	86	—	83	—	83	83	—

[1] Температура в Кельвинах определяется по формуле T(К) = T(°С) + 273.

Таблица А.4 — Средние значения относительного удлинения и сужения при длительном статическом нагружении сварочных материалов

Марка стали	Температура[1], °С	Характеристики пластичности	Время, ч					
			10	10^2	10^3	10^4	10^5	$2 \cdot 10^5$
Электроды для ручной дуговой сварки 48А-1 и 48А-2	530	A_t^T, %	20	18	13	8	8	8
		Z_t^T, %	45	35	30	14	14	14
	600	A_t^T, %	20	20	20	10	10	10
		Z_t^T, %	50	45	25	16	16	16

[1] Температура в Кельвинах определяется по формуле T(К) = T(°С) + 273.

Таблица А.5 — Минимальные значения пределов длительной прочности R_{mt}^T, МПа

Марка стали, сплава	$R_{p0,2}^T$, МПа	R_m^T, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
10Х2М	≥245	≥392	450	296	282	266	251	235	219	204	180	157	149	—
			500	255	250	227	204	174	149	126	11О	94	86	—
			510	255	231	209	187	161	137	116	101	86	79	—
12Х2М	≥343	≥539	500	338	323	309	265	221	199	162	133	110	99	—
	≥255	≥451	500	294	279	257	221	191	162	133	110	89	79	—
10Х2М1ФБ	≥196	≥343	400	256	246	234	229	219	206	181	163	143	129	—
			450	256	242	230	226	207	193	173	155	136	129	—
			500	193	177	155	139	125	113	102	94	83	75,5	—
15ХМ	≥235	≥441	500	330	322	298	278	251	208	174	146	114	96	—
12МХ	≥225	≥411	500	275	296	265	262	239	219	166	139	108	91	—
20ХМЛ	≥245	≥441	500	309	301	279	261	235	217	163	137	106	90	—
20ХМФЛ	≥294	≥490	500	331	309	286	261	228	198	169	147	121	108	—

Продолжение таблицы А.5

Марка стали, сплава	$R^T_{p0,2}$, МПа	R^T_m, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
12Х1МФ[2]	≥274	≥441	450	258	250	236	221	211	196	179	166	143	136	134
			500	258	250	236	222	204	190	158	136	107	100	98
			550	—	—	160	—	135	—	105	—	80	70	62
15Х1М1Ф[3]	≥314	≥490	450	—	—	295	—	250	—	210	—	182	175	168
			500	232	220	213	201	184	173	154	144	125	118	110
			550	—	—	190	—	163	—	127	—	95	82	72
15Х1М1ФЛ	≥314	≥490	500	232	220	213	201	184	173	154	144	126	118	—
25Х1МФ	≥590	≥736	500	440	412	354	294	244	211	191	159	125	—	—
16ГНМА	≥323	≥490	400	392	392	392	382	376	354	336	304	280	256	—
			450	350	346	342	335	325	303	271	236	194	170	—
09Х18Н9	≥196	≥490	450	271	271	271	270	256	250	236	218	196	187	—
10Х18Н9			500	271	257	250	236	214	192	179	157	143	135	—
12Х18Н9			550	242	235	218	206	178	150	128	114	100	92	—
			600	200	193	174	146	125	114	89	75	64	57	—
08Х18Н10Т	≥196	≥490	500	281	265	250	242	232	213	191	182	151	140	—
			550	243	228	221	200	184	156	134	108	90	81	—
			600	207	191	170	151	125	106	88	74	70	62	—
12Х18Н10Т	≥216	≥529	450	279	279	279	279	279	279	279	279	250	236	—
12Х18Н12Т			500	279	264	250	242	236	213	191	169	147	140	—
			550	265	250	236	221	199	176	151	128	112	105	103
			600	236	213	191	180	162	140	118	95	81	73	70
12Х18Н12М3ТЛ	≥216	≥491	500	213)	209	206	202	199	176	162	140	132	121	—
03Х16Н9М2 и	≥200	≥520	450	369	359	350	343	314	294	274	255	240	230	—
ее сварные			500	348	325	304	284	264	244	224	206	186	175	—
соединения			550	333	309	285	237	230	206	178	153	131	119	—
(электрод ЦТ-46)			600	292	265	233	205	178	154	129	107	86	76	—
08Х16Н11М3	≥206	≥510	450	279	279	279	279	279	265	257	235	220	213	—
			500	279	279	279	257	242	227	212	183	165	147	—

Продолжение таблицы А.5

Марка стали, сплава	$R^T_{p0,2}$, МПа	R^T_m, МПа	Температура[1)], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
			550	250	227	206	195	185	170	160	141	124	116	—
			600	196	178	160	145	124	116	101	81	80	71	—
10Х17Н13М2Т	≥196	≥510	550	191	176	162	147	132	121	110	97	88	80	—
			600	165	152	139	124	114	100	84	73,5	62	58	—
ХН35ВТ	≥392	≥736	450	465	465	465	465	465	465	447	415	401	386	—
			500	465	429	401	386	365	350	329	301	250	236	—
			550	393	386	358	343	322	304	272	243	222	207	—
			600	315	301	286	265	250	229	215	183	158	143	—
06Х20Н46Б	≥196	≥520	550	265	250	236	221	199	177	151	129	112	103	—
09Г2С	≥245	≥432	400	279	263	243	232	212	192	170	149	128	116	—
			450	214	194	174	153	133	115	95,8	80,4	65	57	—
05Х12Н2М	≥372	≥539	450	353	343	303	294	216	196	186	186	176	167	—
			500	255	255	216	206	176	157	127	118	108	98	—
			550	176	176	147	137	118	108	98	88	73	69	—
03Х21Н32М3Б	≥216	≥539	500	441	441	441	431	431	421	421	384	384	—	—
			550	372	372	372	363	343	304	255	235	216	—	—
07Х12НМФБ	≥420	≥580	450	421	414	407	401	394	388	381	376	366	361	358
			500	339	327	314	292	268	247	225	206	186	174	168
			550	278	256	232	211	190	171	151	134	116	106	101
			600	204	183	161	143	124	107	90	76	63	55	51
20Х1М1Ф1ТР	≥666	≥784	350	592	584	576	568	560	556	552	542	536	532	—
			400	568	564	560	552	544	528	512	496	464	448	—
			450	540	528	512	496	476	456	432	408	386	368	—
			500	478	454	428	405	379	357	332	311	288	272	—
			550	384	360	336	312	286	263	238	216	192	176	—
10Х12В2МФ	≥392	≥588	500	263	242	225	204	188	173	161	146	131	125	—
1Х12В2МФ			550	206	188	173	158	143	129	118	107	96,8	90	—
1Х16Н36МБТЮР	≥392	≥785	500	663	638	618	606	596	576	459	434	389	375	—

Окончание таблицы А.5

Марка стали, сплава	$R^T_{p0,2}$, МПа	R^T_m, МПа	Температура[1], °С	Время, ч										
				10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
09Х16Н15М3Б	≥245	≥540	550	354	337	323	309	279	—	—	—	—	—	—
			600	324	294	266	246	221	—	—	—	—	—	—
04Х18Н10 03Х18Н11	≥157	≥441	500	228	214	199	188	177	162	151	132	118	111	—
	≥196	≥510	550	192	177	162	147	132	122	111	97	89	81	—
10Х9МФБ	≥450	≥600	500	330	—	290	—	251	—	216	—	185	176	—
			550	236	—	202	—	172	—	145	—	121	115	—
			600	167	—	141	—	118	—	98	—	81	76	—
10Х9МФБ	≥350	≥500	500	263	—	236	—	209	—	184	—	159	152	—
			550	198	—	173	—	149	—	125	—	104	98	—
			600	145	—	122	—	101	—	82	—	65	61	—

[1] Температура в Кельвинах определяется по формуле $T(К) = T(°С) + 273$.

[2] Прогнозируемые значения на временной базе $5 \cdot 10^5$ ч: $R^{450}_{mt} = 123$ МПа, $R^{500}_{mt} = 86$ МПа, $R^{550}_{mt} = 43$ МПа.

[3] Прогнозируемые значения на временной базе $5 \cdot 10^5$ ч: $R^{450}_{mt} = 144$ МПа, $R^{500}_{mt} = 89$ МПа, $R^{550}_{mt} = 50$ МПа.

Приложение Б
(справочное)

Изохронные кривые деформирования

Б.1 Изохронные кривые деформирования в координатах напряжение—деформация (σ—ε) строят по параметру t на длительности 10, 30, 10^2, $3 \cdot 10^2$, 10^3, $3 \cdot 10^3$, 10^4, $3 \cdot 10^4$, 10^5, $2 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ ч.

Б.2 Изохронные кривые деформирования вычисляют согласно формуле

$$\varepsilon(\sigma) = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_c, \quad (Б.1)$$

где ε_e — упругая часть деформации;

ε_p — пластическая часть деформации;

ε_c — деформация ползучести.

Упругая часть деформации определяется по формуле

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E^T}, \quad (Б.2)$$

где E^T — модуль Юнга, МПа.

Пластическая часть деформации представляет собой разницу между полной деформацией при упруго-пластическом нагружении ε^{ep} и упругой частью деформации ε_e

$$\varepsilon_p = \varepsilon^{ep} - \varepsilon^e. \quad (Б.3)$$

Пластическую часть деформации ε_p рекомендуется определять согласно выражению

$$\sigma = A_p \cdot \varepsilon_p^{n_p}, \quad (Б.4)$$

где A_p, n_p — коэффициенты материала.

Деформацию ползучести ε_c определяют из зависимости для скорости ползучести $\dot{\varepsilon}$, 1/ч:

$$\dot{\varepsilon} = \begin{cases} a_c \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{n_c} \cdot \varepsilon_c^{m_c} & \text{при } \varepsilon_c \le \varepsilon' \\ b \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{n_c} & \text{при } \varepsilon_c > \varepsilon' \end{cases}, \quad (Б.5)$$

где σ_0 = 100 МПа;

ε' — деформация перехода от первой ко второй стадии ползучести;

a_c, b, m_c, n_c — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов путем обработки первичных кривых ползучести (в координатах «ε—t»).

Деформация ползучести определяется из зависимости

$$\varepsilon_c = \begin{cases} \left[(1 - m_c) \cdot a_c \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{n_c} \cdot t \right]^{\frac{1}{1-m_c}} & \text{при } \varepsilon_c \le \varepsilon' \\ b \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{n_c} \cdot (t - t') + \varepsilon' & \text{при } \varepsilon_c > \varepsilon' \end{cases}, \quad (Б.6)$$

где t — время, ч;

t' — время, соответствующее деформации ε'.

Деформацию ε', соответствующую переходу от первой стадии ползучести ко второй стадии, получают по первичным кривым ползучести.

Рассматриваются текущий и последующий временные интервалы, начиная с 0 ч шириной 500 ч с шагом в 100 ч. Границы i-го временного интервала в часах [0 + $i \cdot$ 100, 500 + $i \cdot$ 100], где i = 0, 1, 2… . На текущем (i-м) и последующем (i + 1) временных интервалах методом наименьших квадратов аппроксимируется зависимость ε—t линейными функциями, по которым определяются скорости ползучести для текущего и последующего временных интервалов.

За начало второй стадии ползучести принимается левая граница последующего интервала (по деформациям) при условии, что абсолютная разница скоростей ползучести между двумя соседними интервалами составляет менее 5 %.

Б.3 При расчетах в условиях облучения хромо-никелевых сталей аустенитного класса формула скорости ползучести $\dot{\varepsilon}_{обл}$ принимается в виде

$$\dot{\varepsilon}_{обл} = \dot{\varepsilon}_c \left(1 + k \cdot \Phi\right), \tag{Б.7}$$

где $k = \frac{1}{\Phi_\xi} \cdot \exp\left(\frac{Q}{R \cdot T}\right)$;

$\Phi_\xi = 4{,}26 \cdot 10^3$ сна/год;

$Q = 7{,}75 \cdot 10^4$ Дж/моль;

$R = 8{,}314$ Дж/(К · моль);

T — абсолютная температура облучения (испытаний), К;

Ф — скорость набора повреждающей дозы, сна/год.

Б.4 При отсутствии экспериментальных данных или данных в настоящем стандарте допускается проводить экстраполяцию изохронных кривых. Экстраполяцию изохронных кривых на временную базу $5 \cdot 10^5$ ч для заданной деформации ε проводят по формуле

$$\sigma_{5 \cdot 10^5} = 0{,}95 \cdot \frac{\sigma_{2 \cdot 10^5}}{\sigma_{1 \cdot 10^5}} \cdot \sigma_{2 \cdot 10^5}, \tag{Б.8}$$

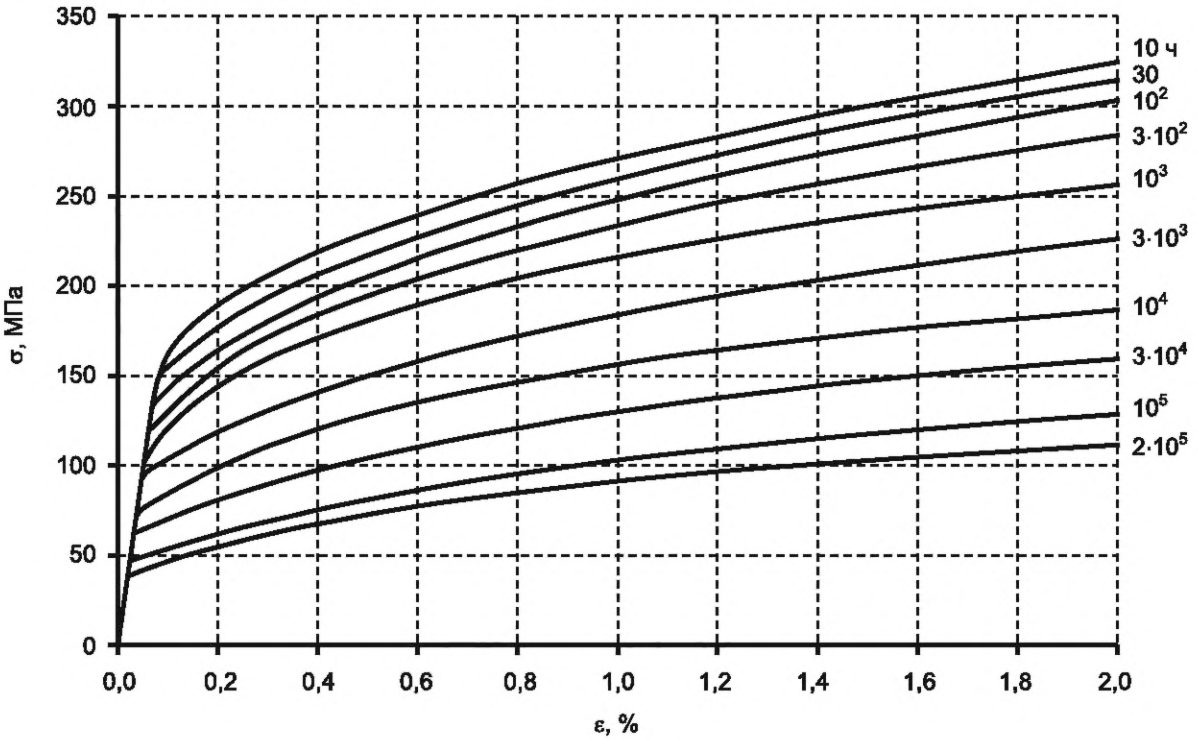
где $\sigma_{5 \cdot 10^5}$, $\sigma_{2 \cdot 10^5}$, $\sigma_{1 \cdot 10^5}$ — значения напряжений при заданном уровне деформации на временных базах $5 \cdot 10^5$, $2 \cdot 10^5$ и $1 \cdot 10^5$ ч соответственно.

При отсутствии данных в настоящем стандарте или экспериментальных данных в качестве изохронной кривой на временной базе $3 \cdot 10^5$ ч следует принимать изохронную кривую, экстраполированную на временную базу $5 \cdot 10^5$ ч.

При проведении экстраполяции должно выполняться условие

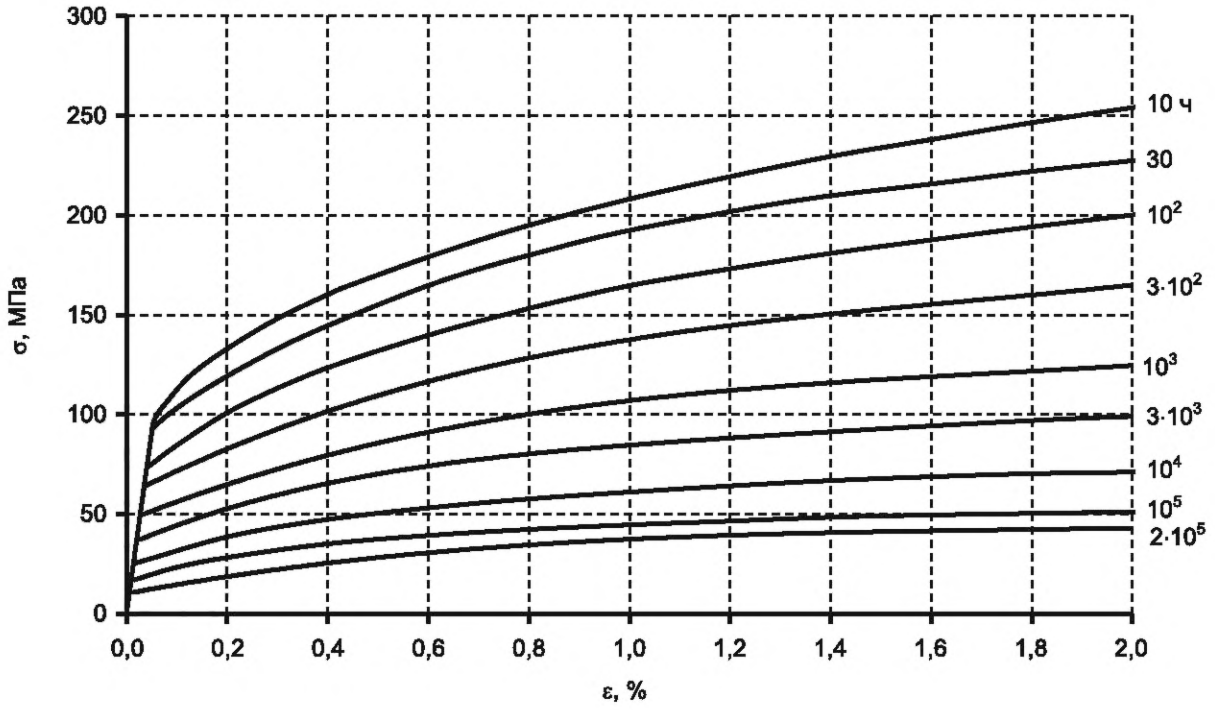
$$\sigma_{5 \cdot 10^5} < R_m^T (t = 5 \cdot 10^5 \text{ ч}). \tag{Б.9}$$

Б.5 На рисунках Б.1—Б.17 приведены изохронные кривые деформирования.



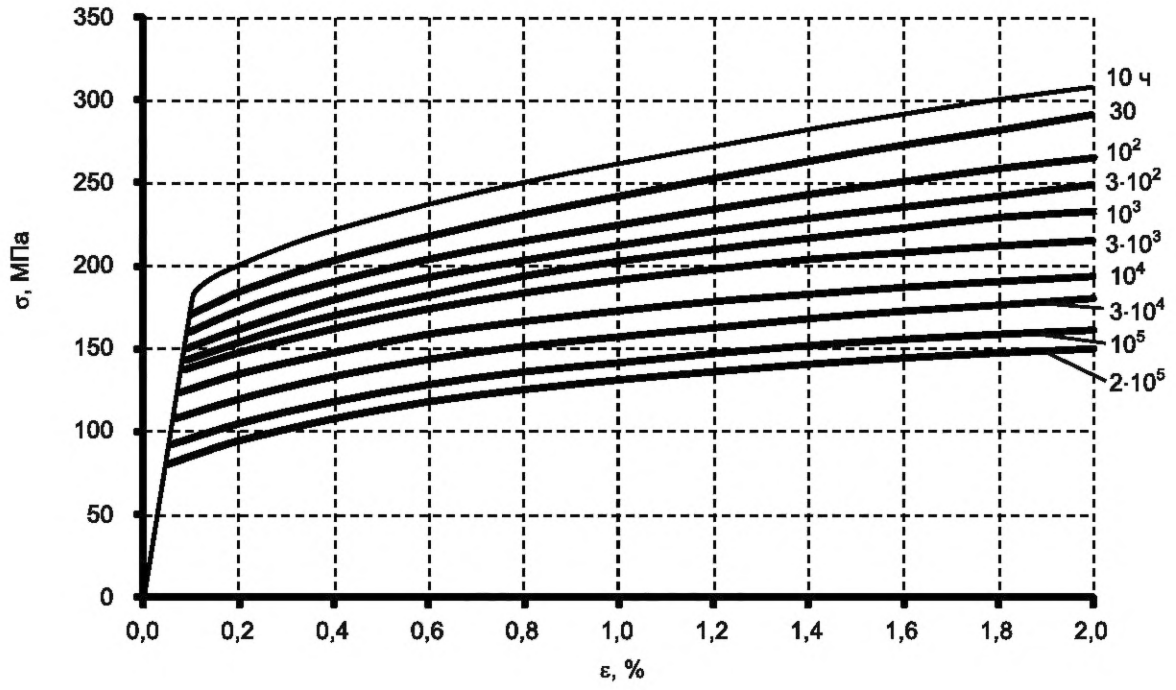
а) При $T = 773$ К (500 °С)

Рисунок Б.1 — Изохронные кривые деформирования сталей марок 15ХМ и 12ХМ



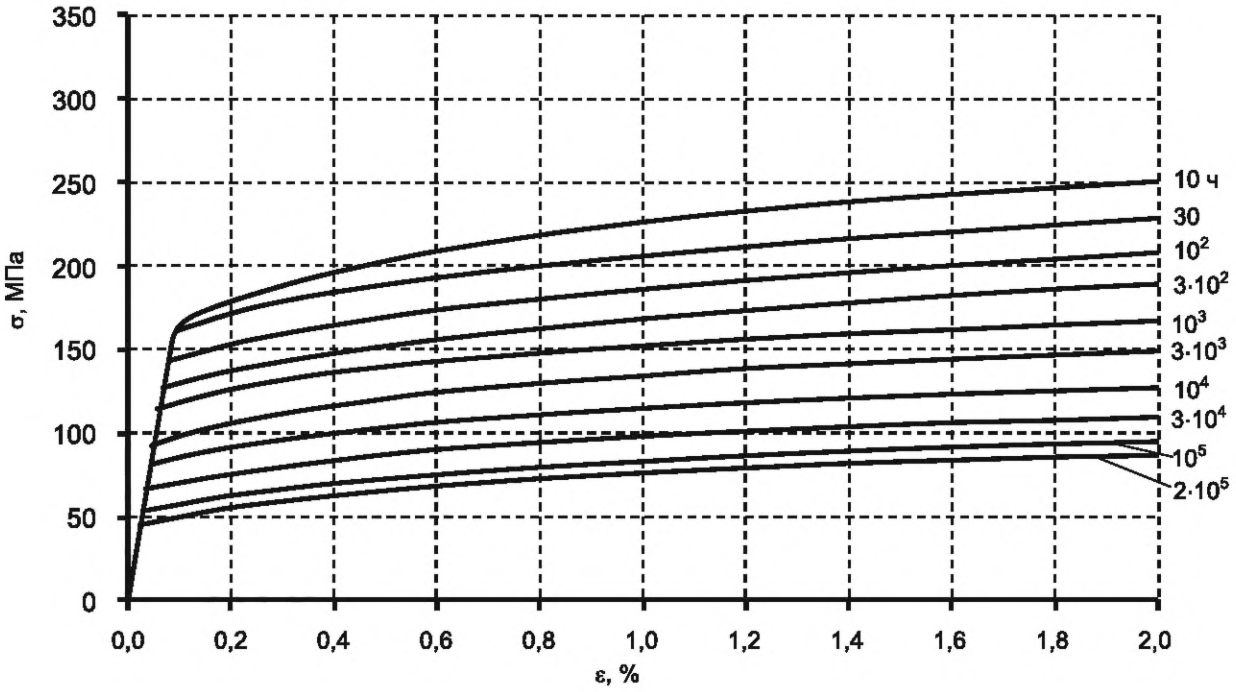
б) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.1, лист 2

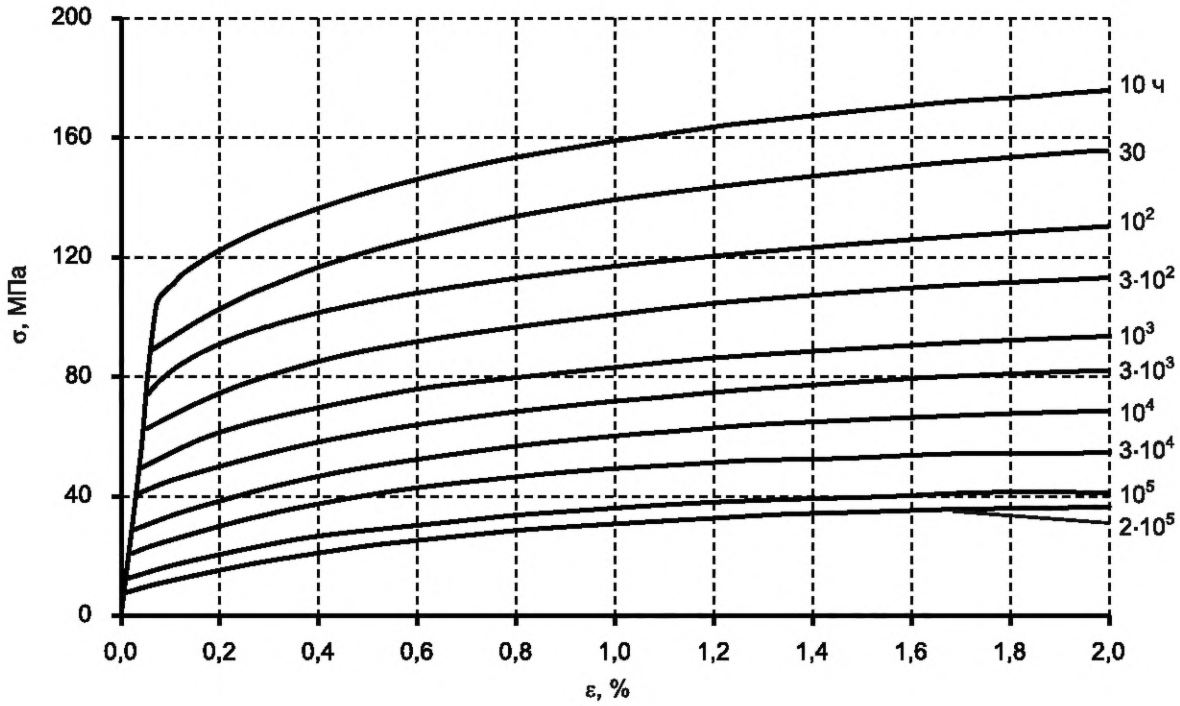


а) При T = 723 К (450 °С)

Рисунок Б.2 — Изохронные кривые деформирования стали марки 12Х2М ($R_{p0,2}^{20}$ = 245 МПа; R_m^{20} = 392 МПа)

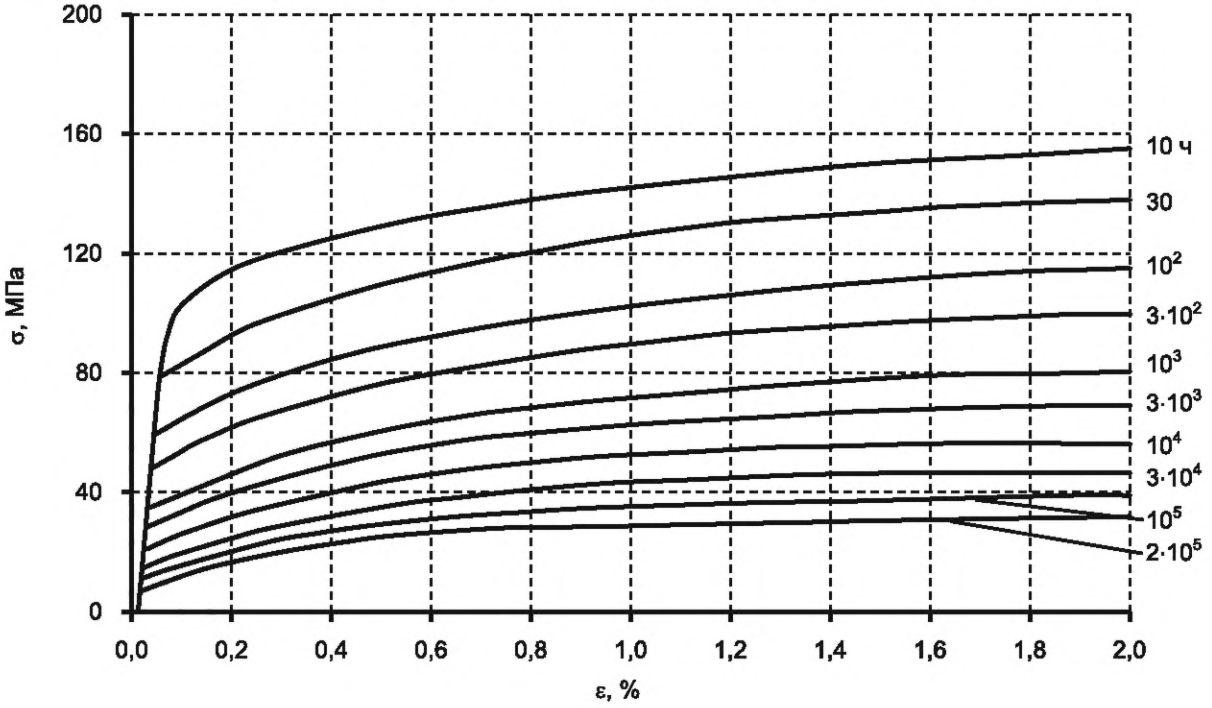


б) При T = 773 К (500 °С)

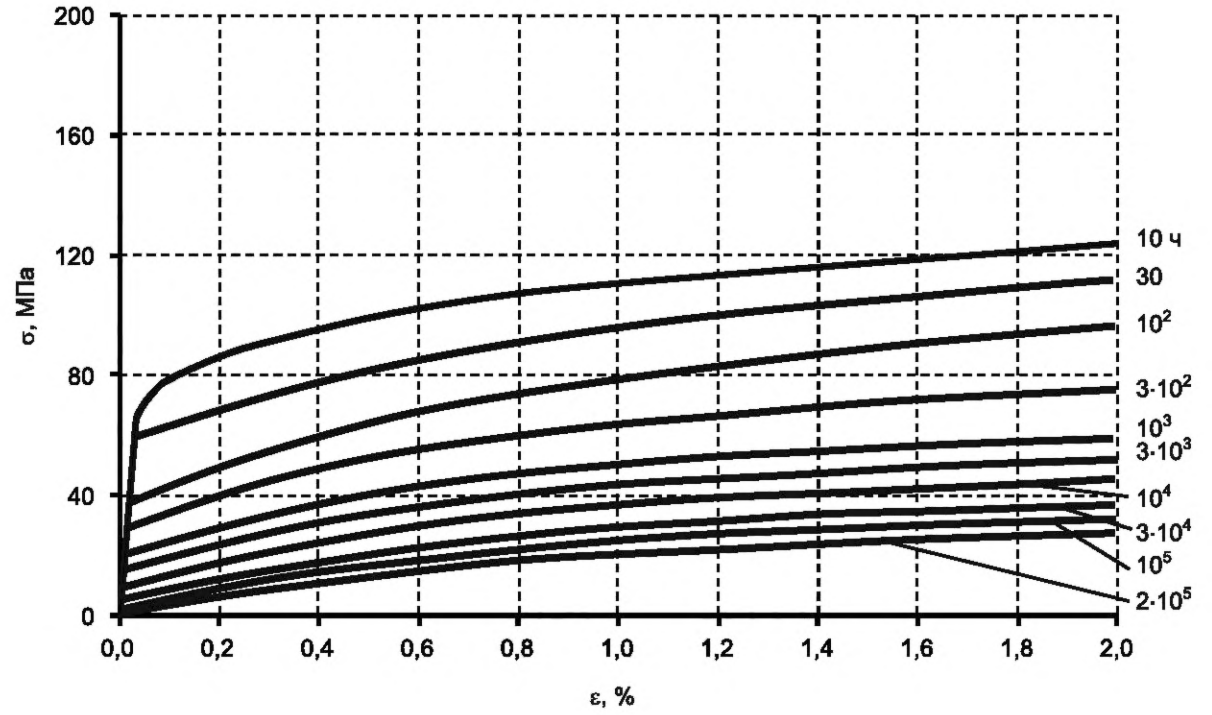


в) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.2, лист 2

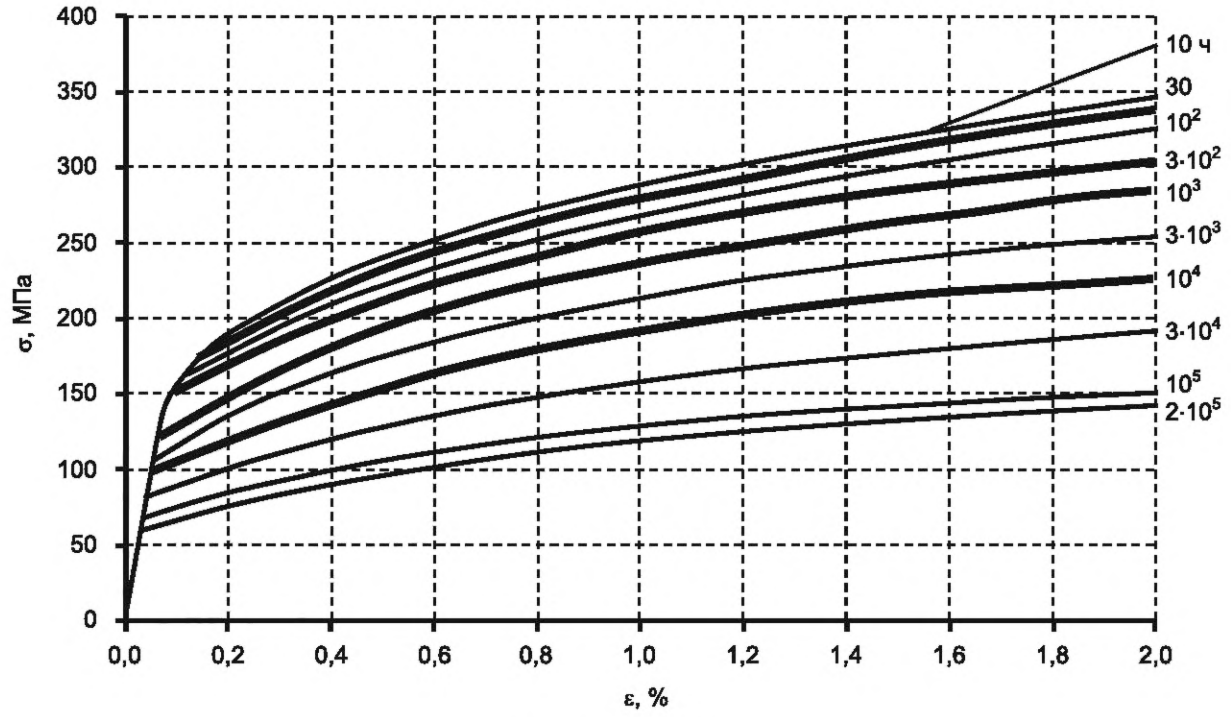


г) При T = 838 К (565 °С)

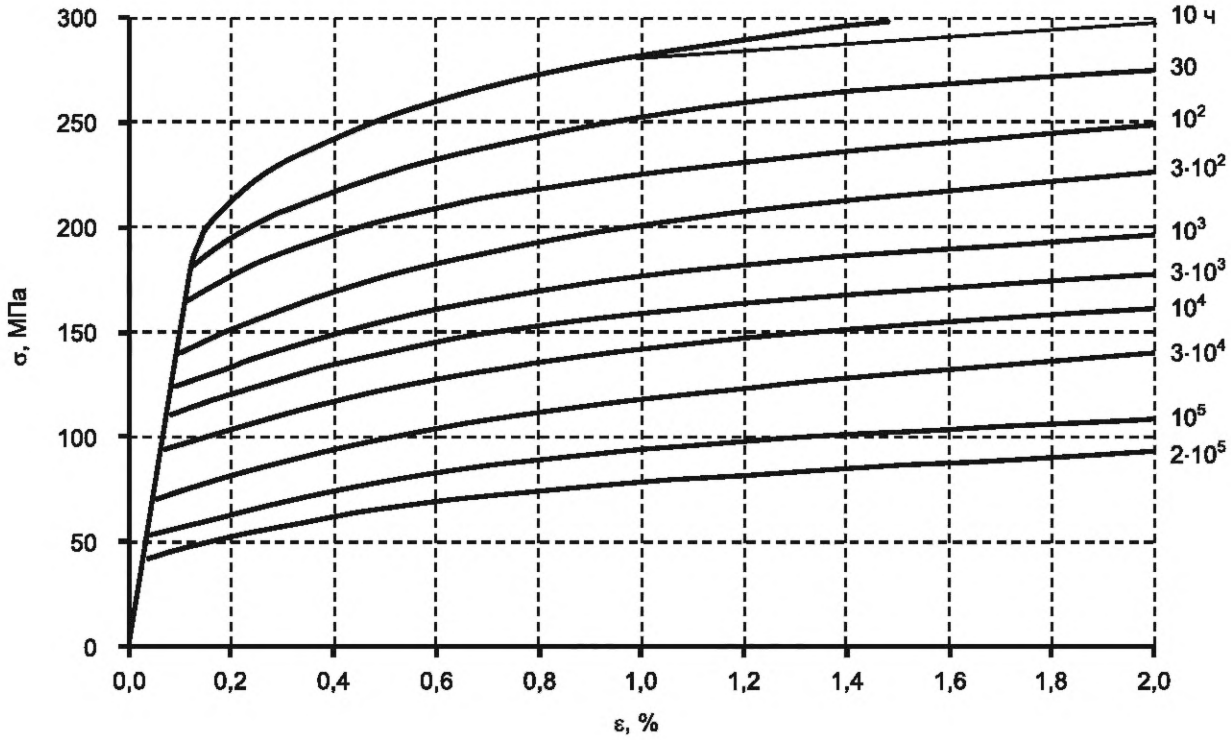


д) При T = 873 К (600 °С)

Рисунок Б.2, лист 3

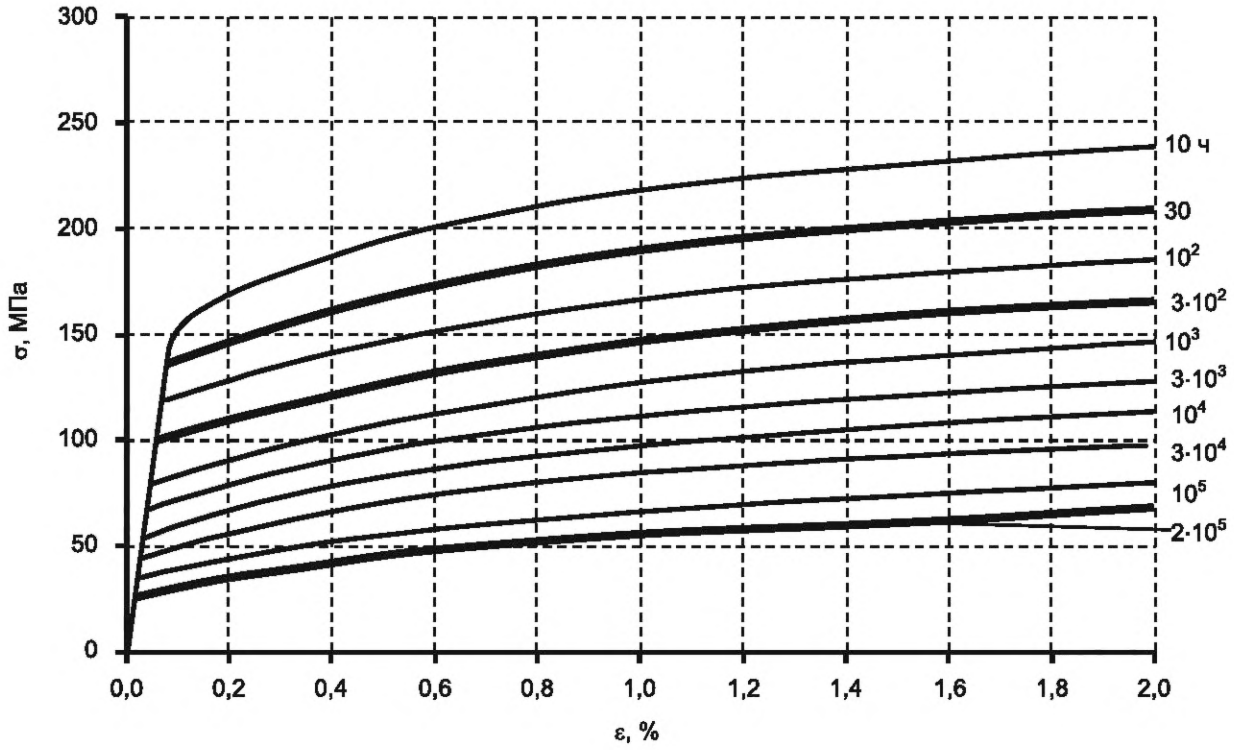


а) При T = 773 К (500 °С)



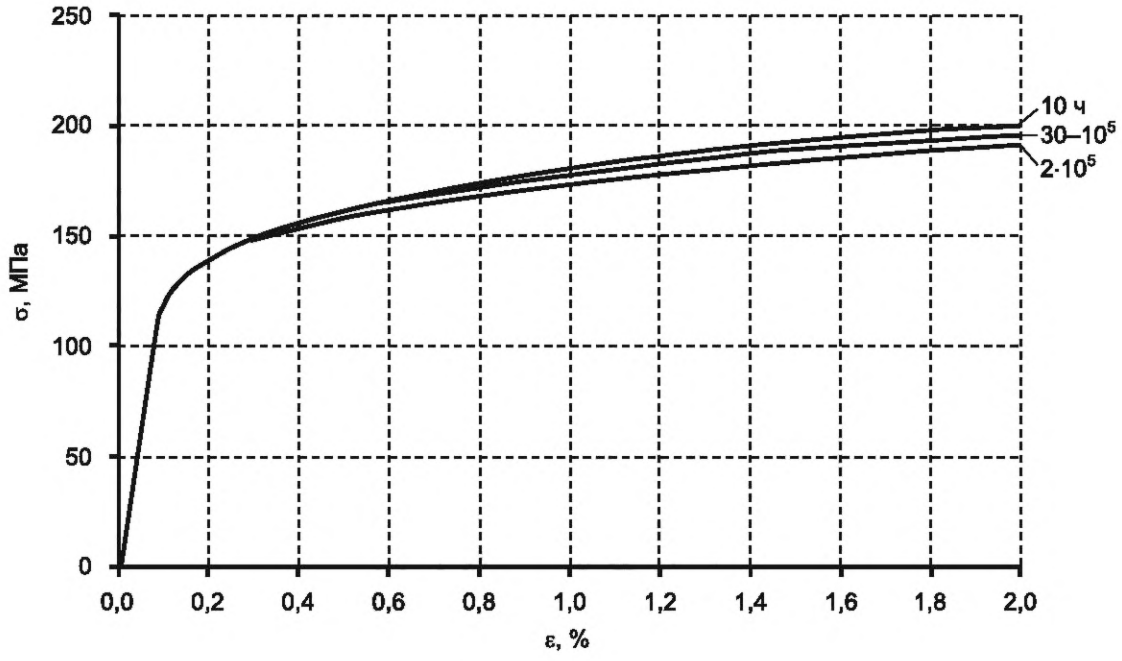
б) При T = 813 К (540 °С)

Рисунок Б.3 — Изохронные кривые деформирования стали марки 15Х1М1Ф ($R_{p0,2}^{20}$ = 314 МПа; R_m^{20} = 490 МПа)



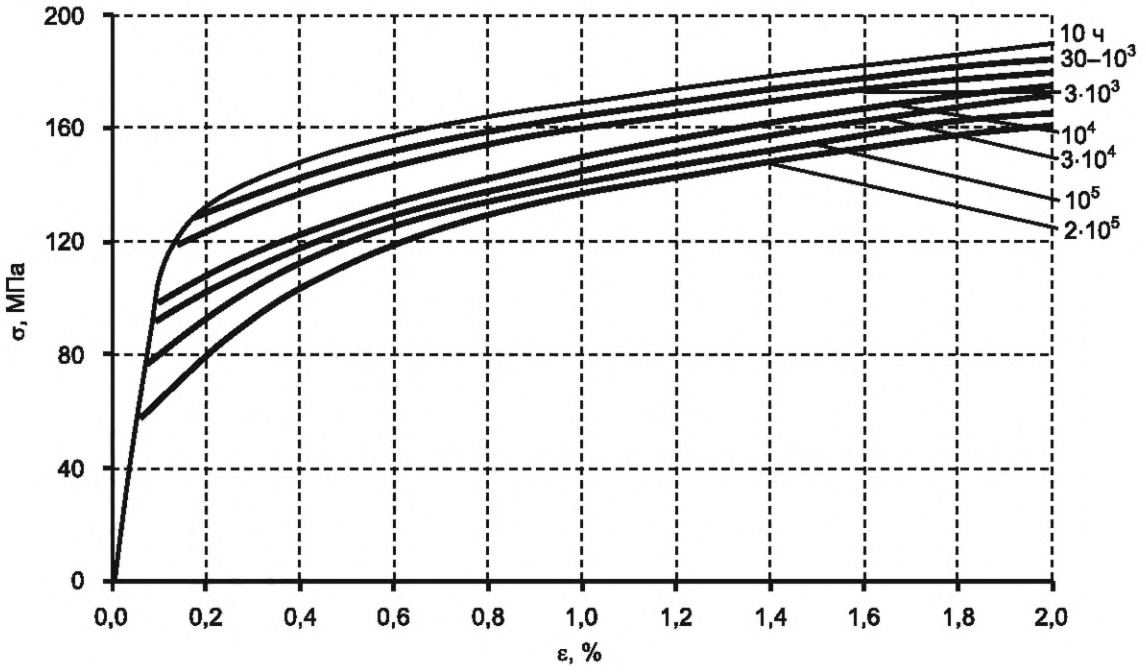
в) При T = 843 К (570 °С)

Рисунок Б.3, лист 2

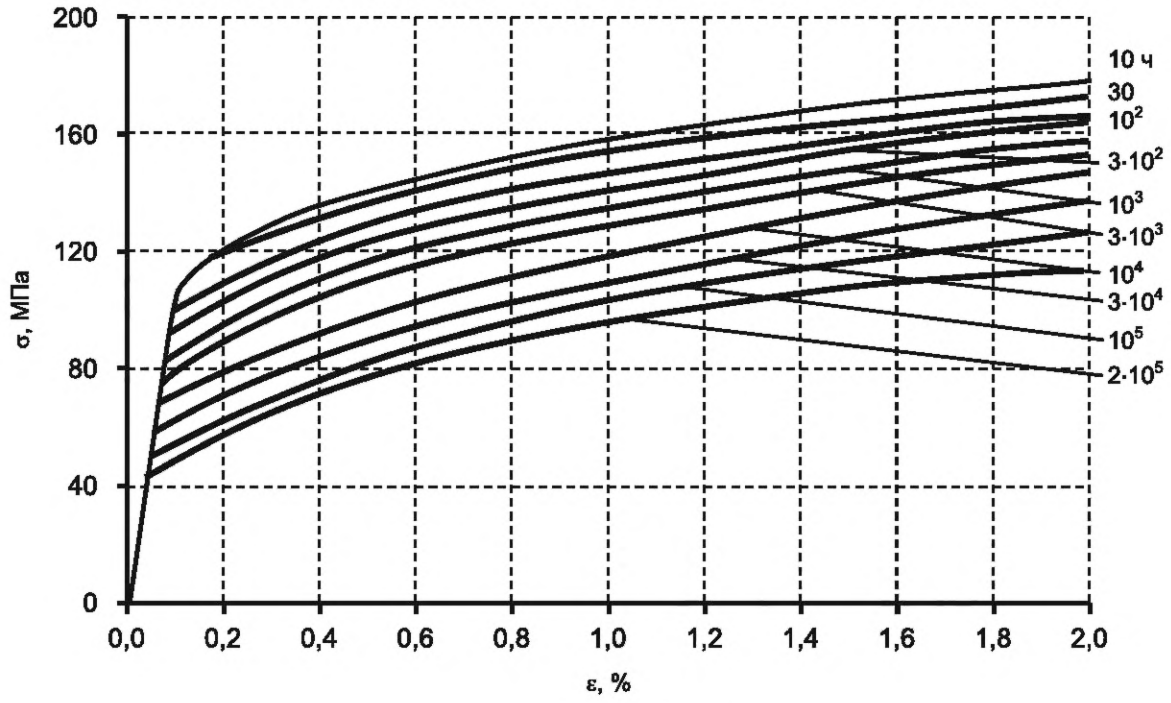


а) При T = 723 К (450 °С)

Рисунок Б.4 — Изохронные кривые деформирования стали марки 12Х18Н9 ($R^{20}_{p0,2}$ = 196 МПа; R^{20}_{m} = 490 МПа)

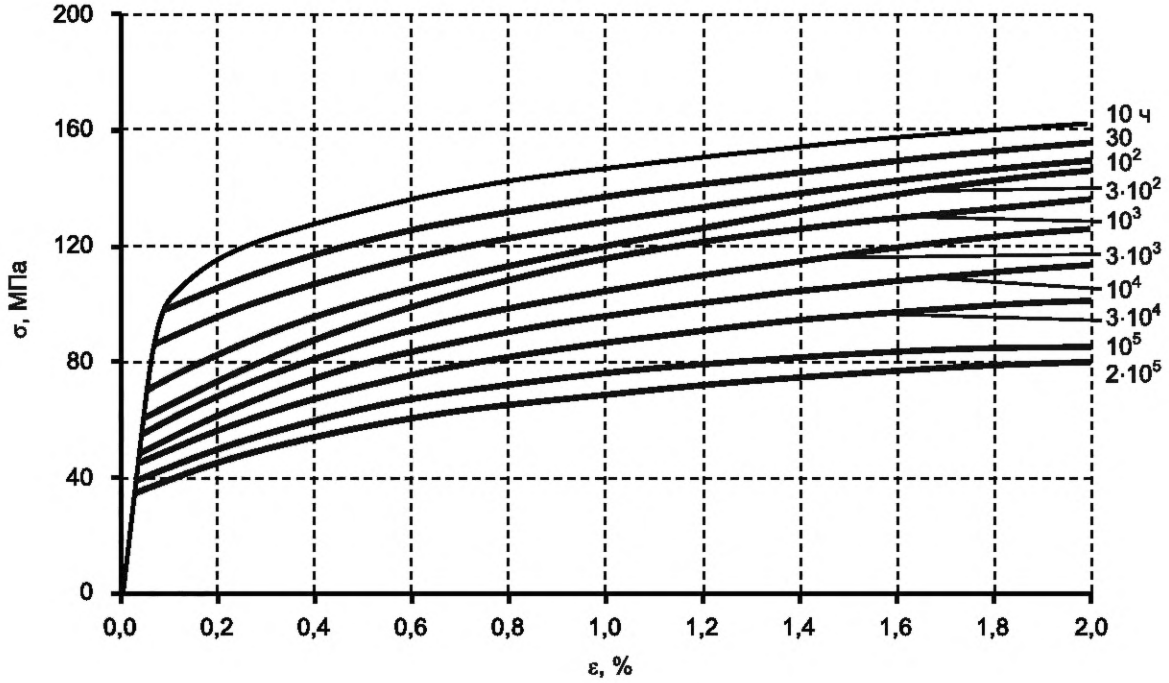


б) При T = 773 К (500 °С)

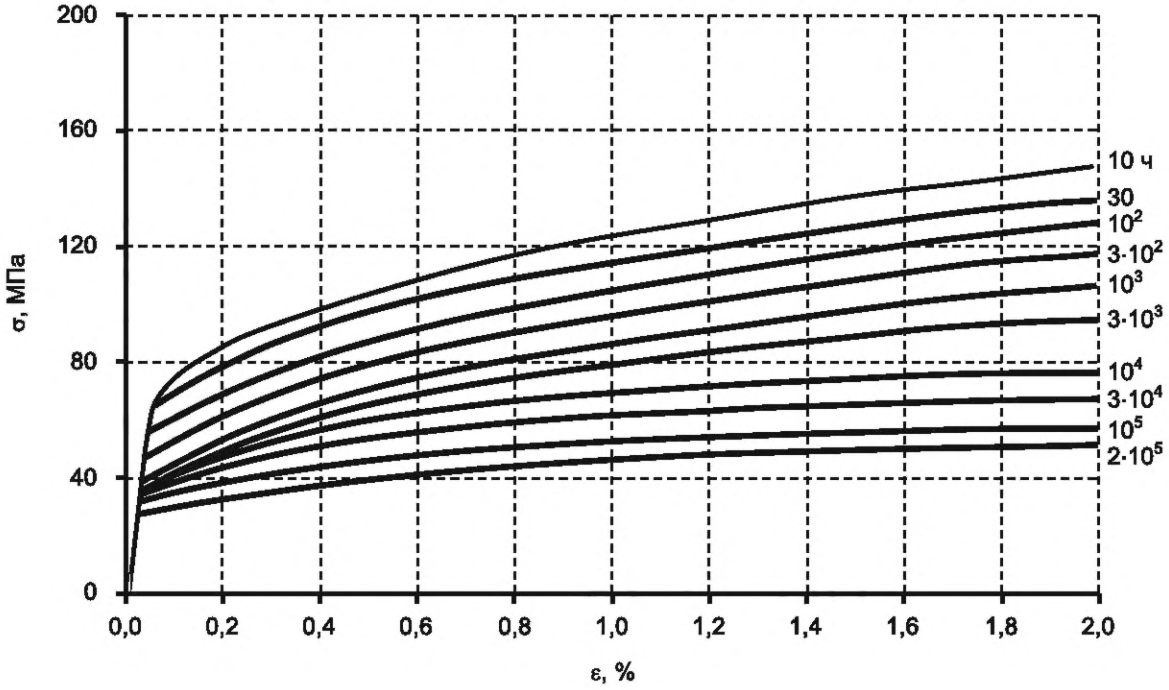


в) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.4, лист 2

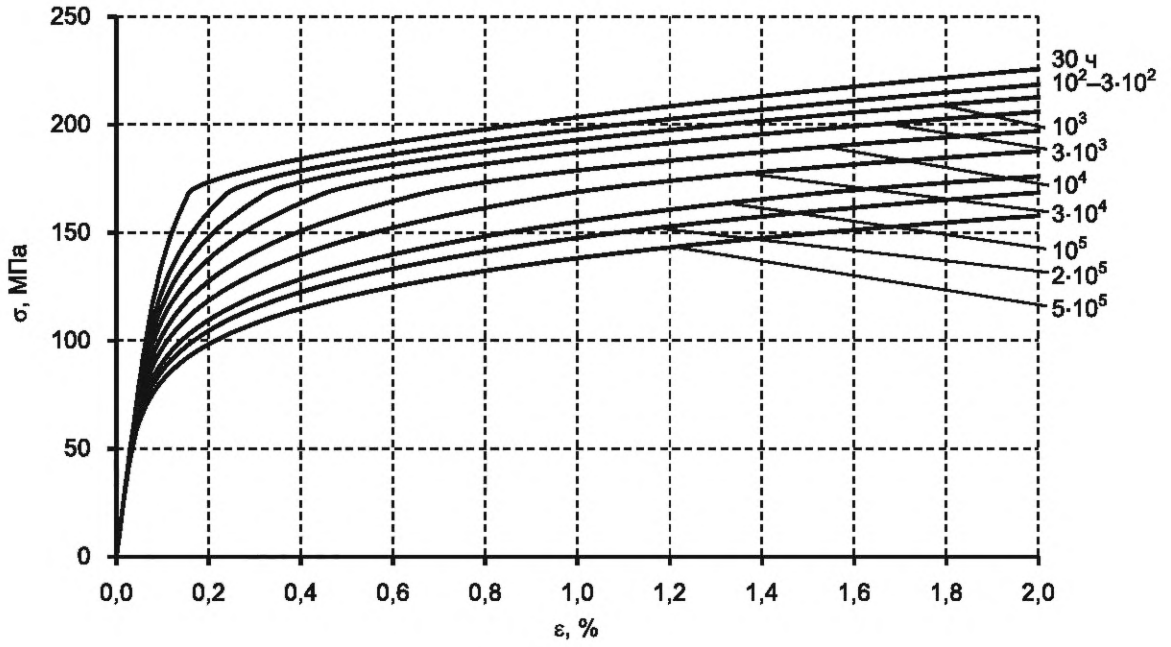


г) При T = 873 К (600 °С)

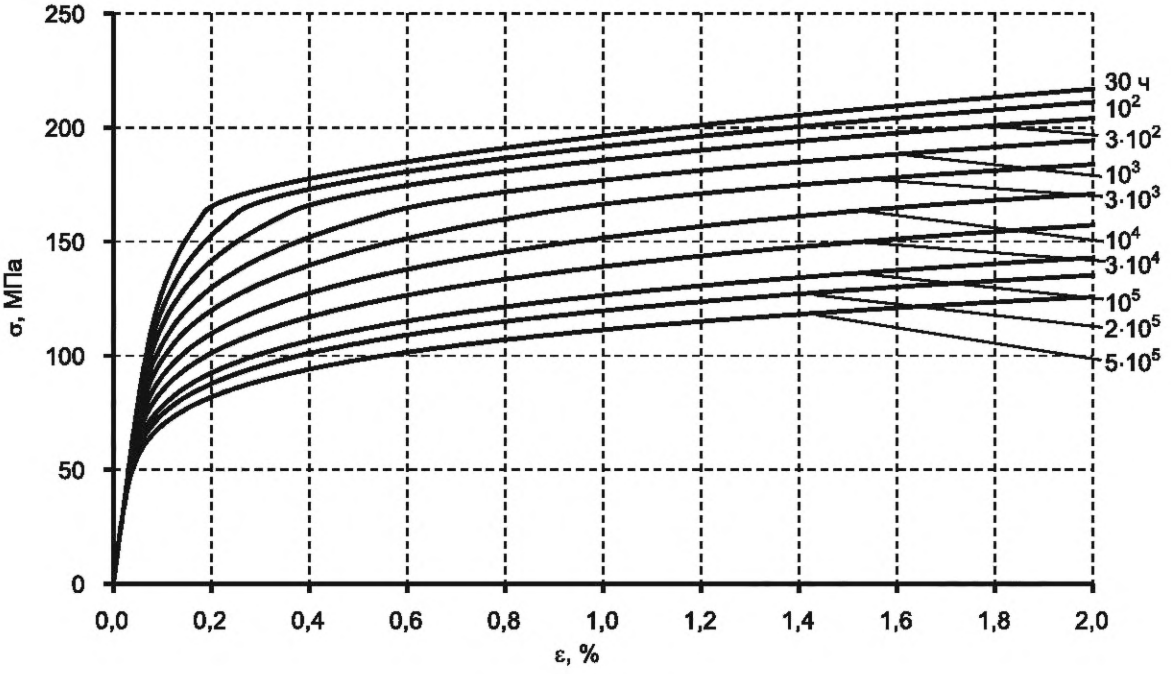


д) При T = 923 К (650 °С)

Рисунок Б.4, лист 3



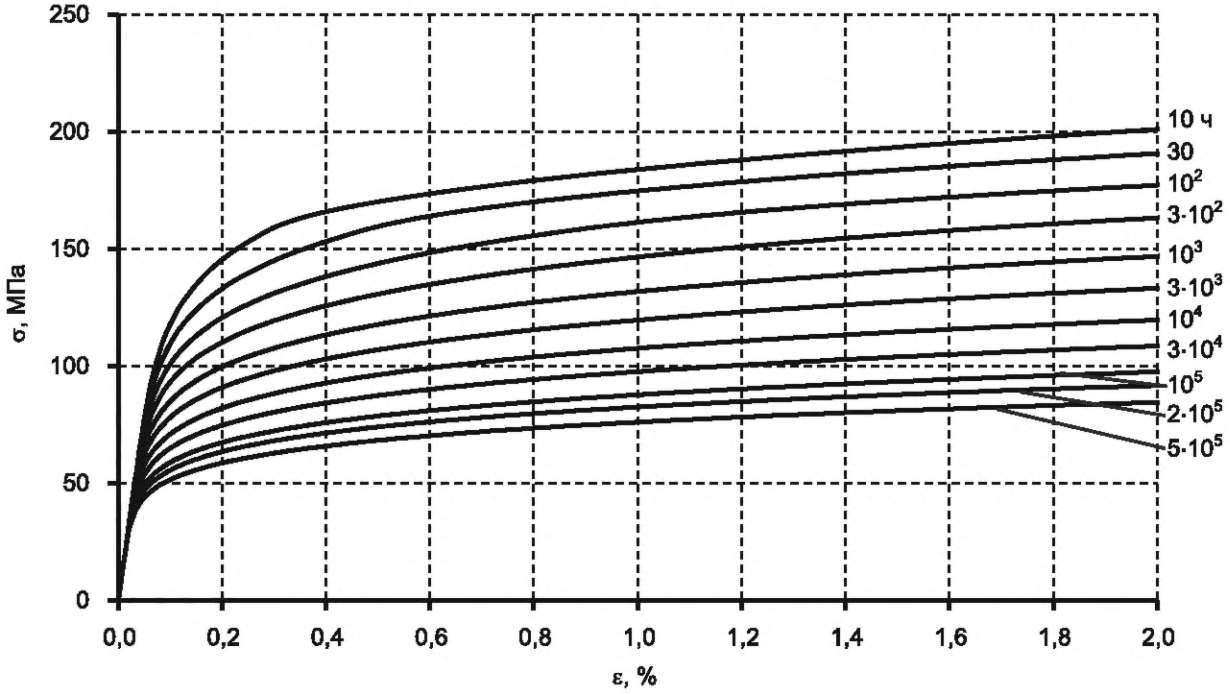
а) При T = 773 К (500 °С)



б) При T = 823 К (550 °С)

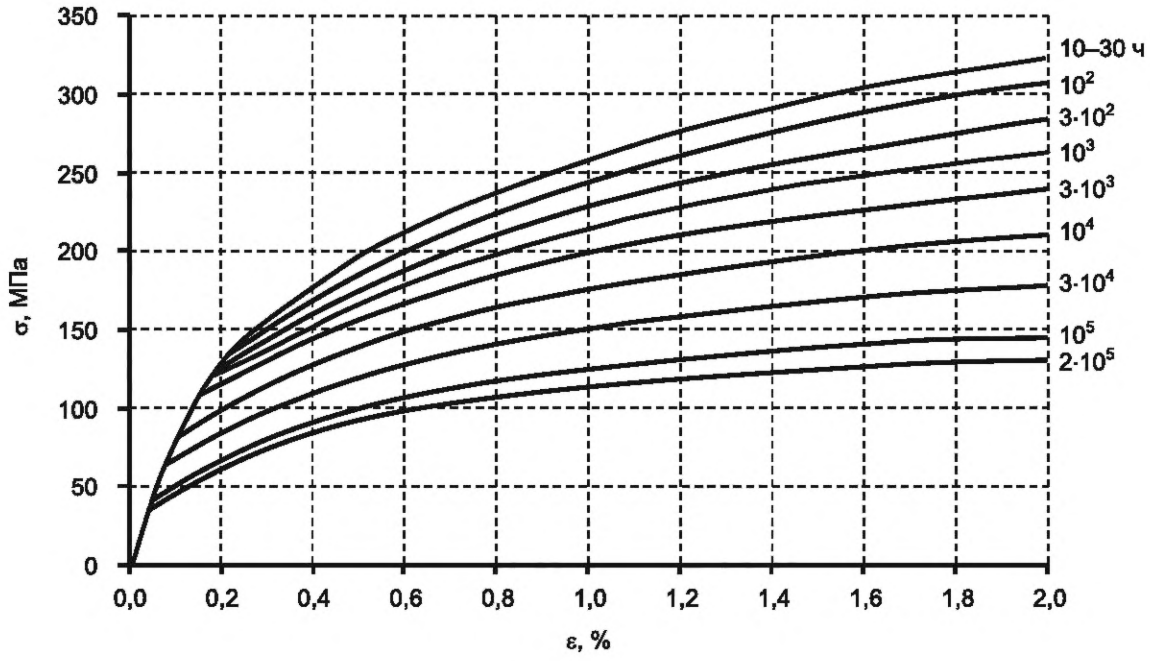
Рисунок Б.5 — Изохронные кривые деформирования стали марки 08Х16Н11М3, 08Х16Н9М2, 12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т

($R^{20}_{p0,2}$ = 196 МПа; R^{20}_{m} = 510 МПа)



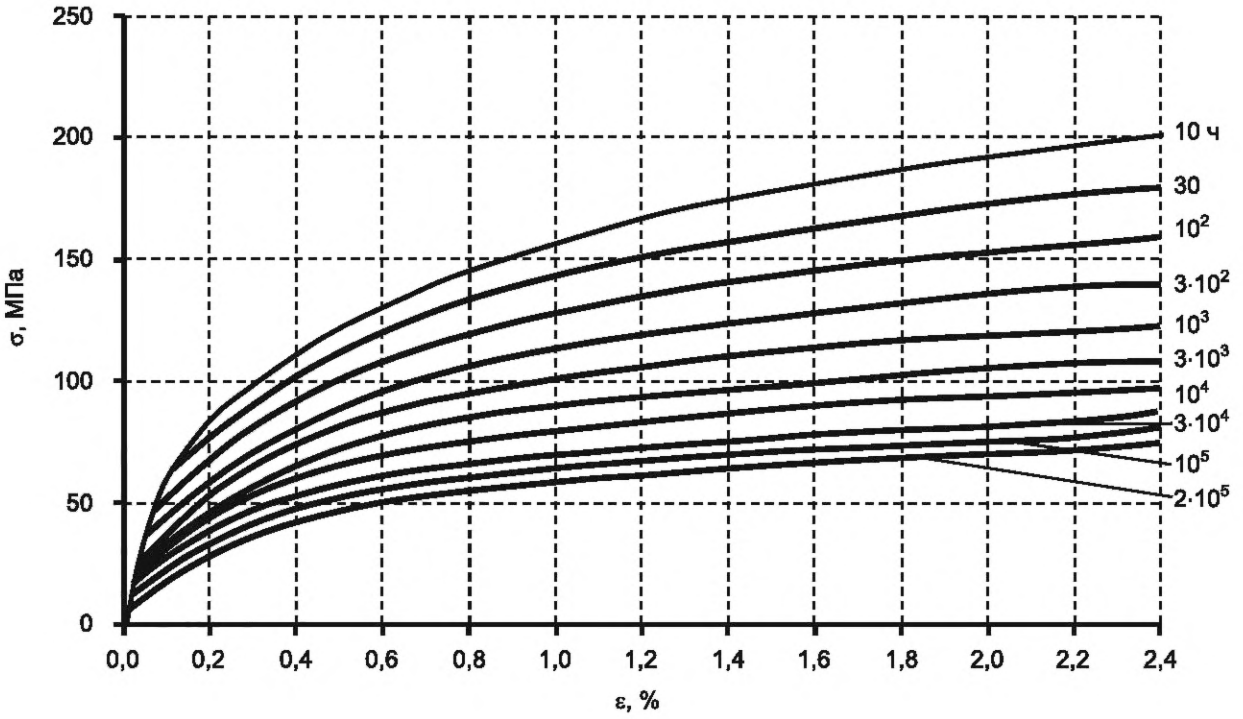
в) При T = 873 К (600 °С)

Рисунок Б.5, лист 2



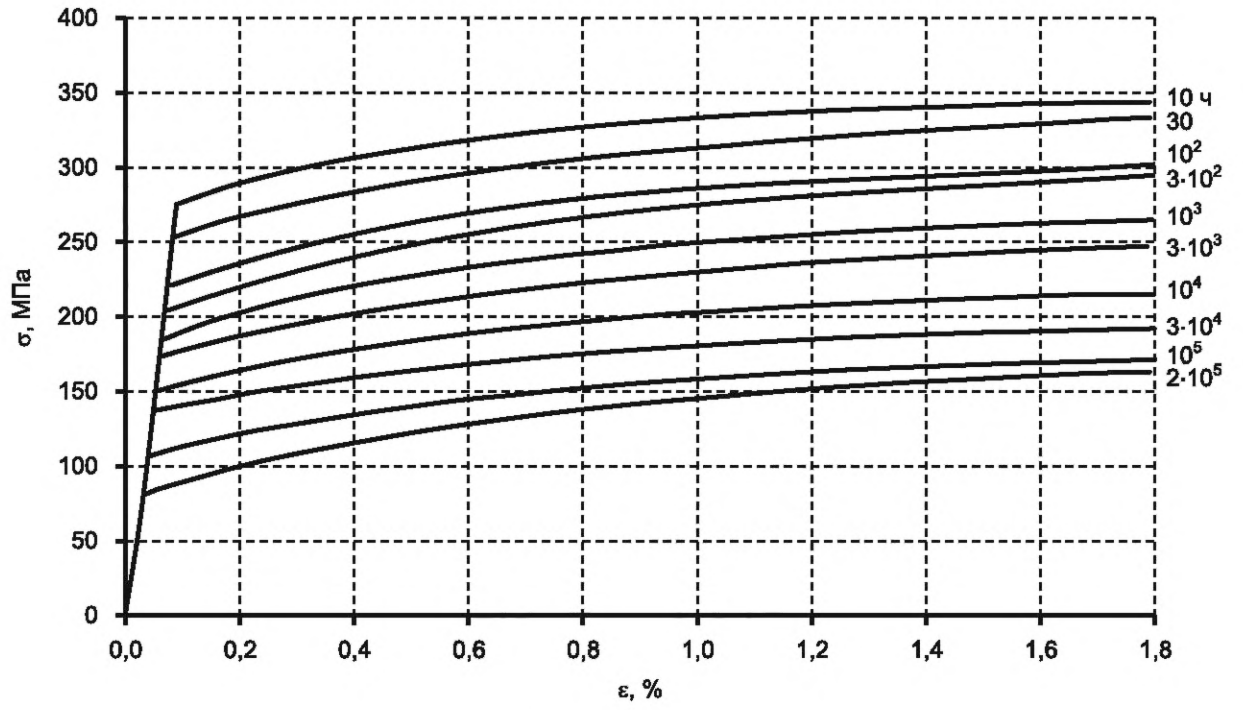
а) При T = 773 К (500 °С)

Рисунок Б.6 — Изохронные кривые деформирования стали марки 12Х1МФ ($R^{20}_{p0,2}$ = 274 МПа; R^{20}_{m} = 441 МПа)



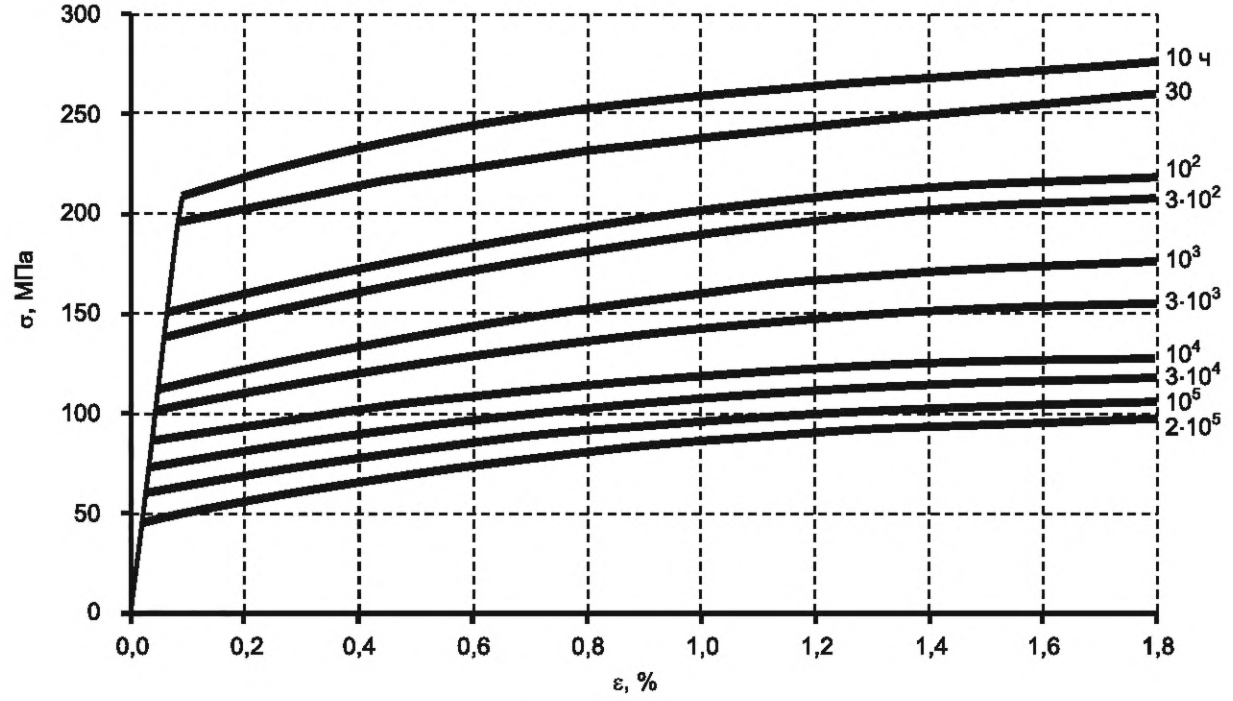
б) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.6, лист 2

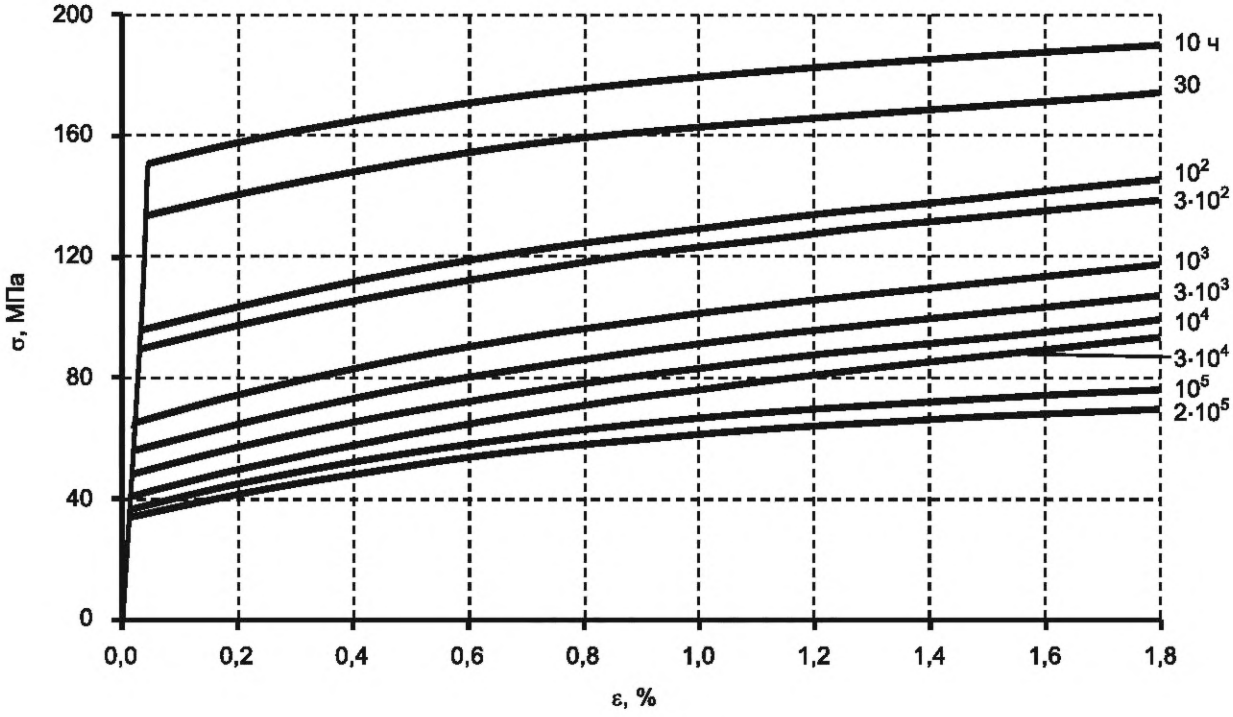


а) При T = 723 К (450 °С)

Рисунок Б.7 — Изохронные кривые деформирования стали марки 05Х12Н2М ($R_{p0,2}^{20}$ = 372 МПа; R_m^{20} = 539 МПа)

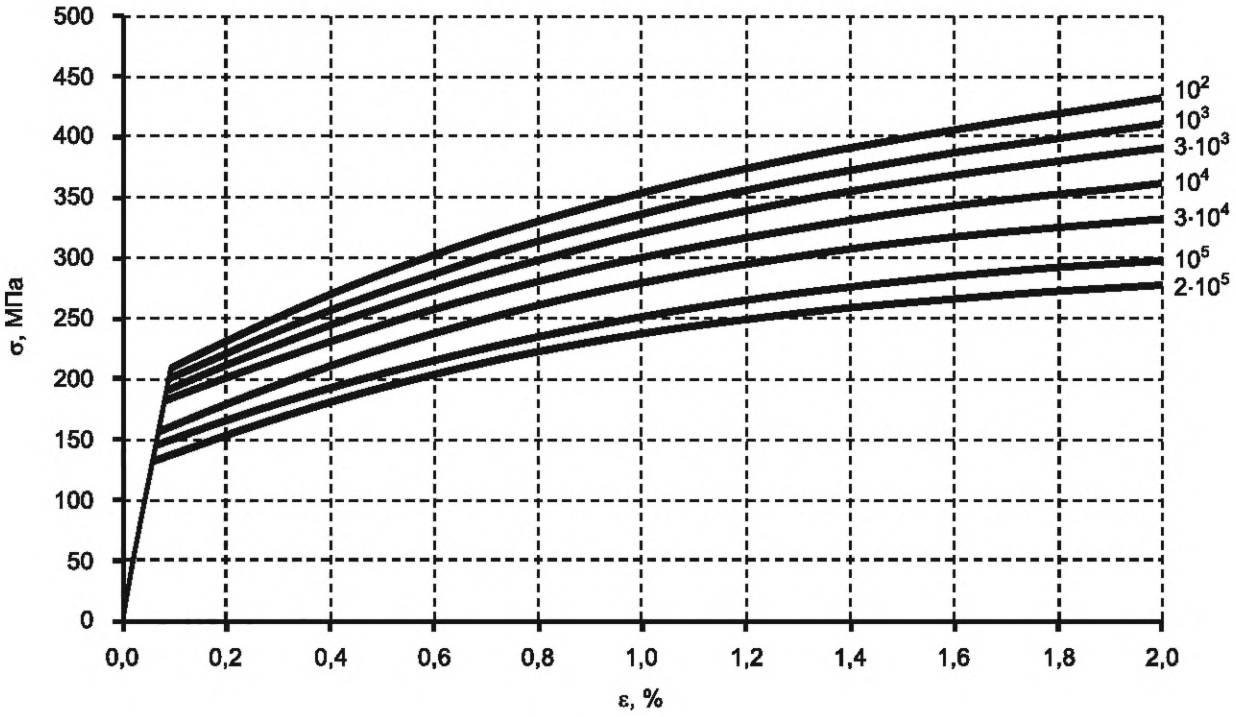


б) При T = 773 К (500 °С)

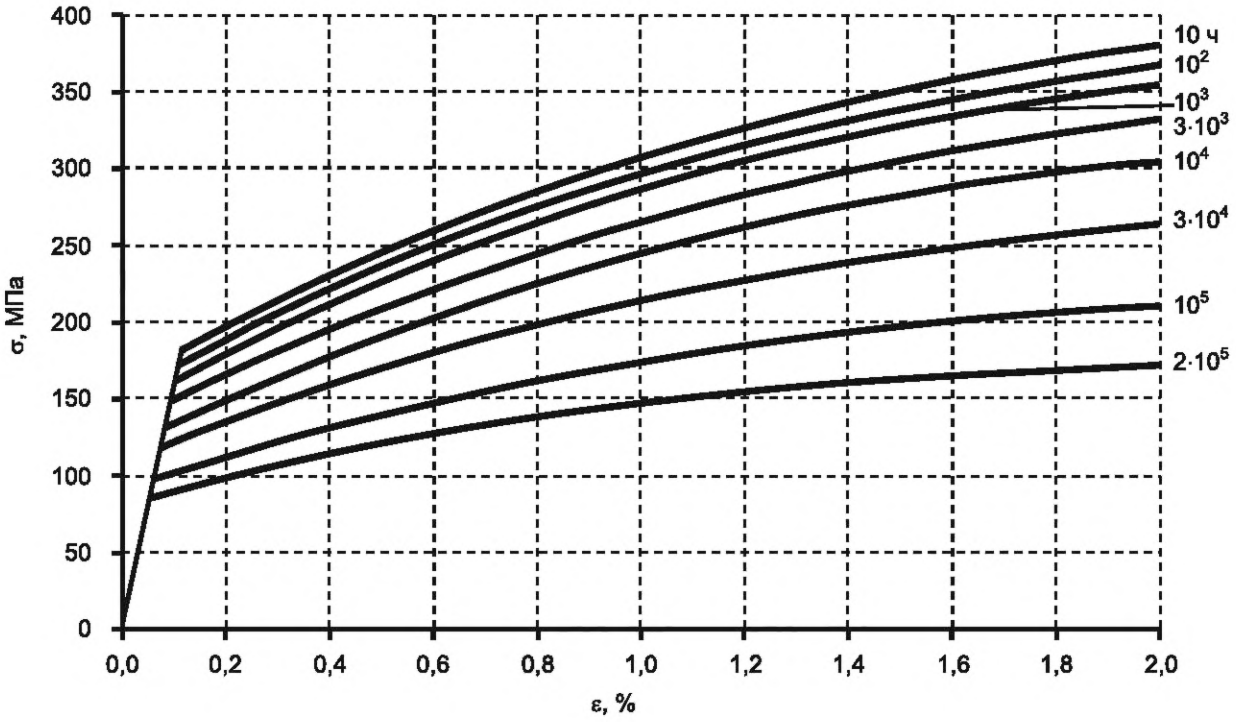


в) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.7, лист 2

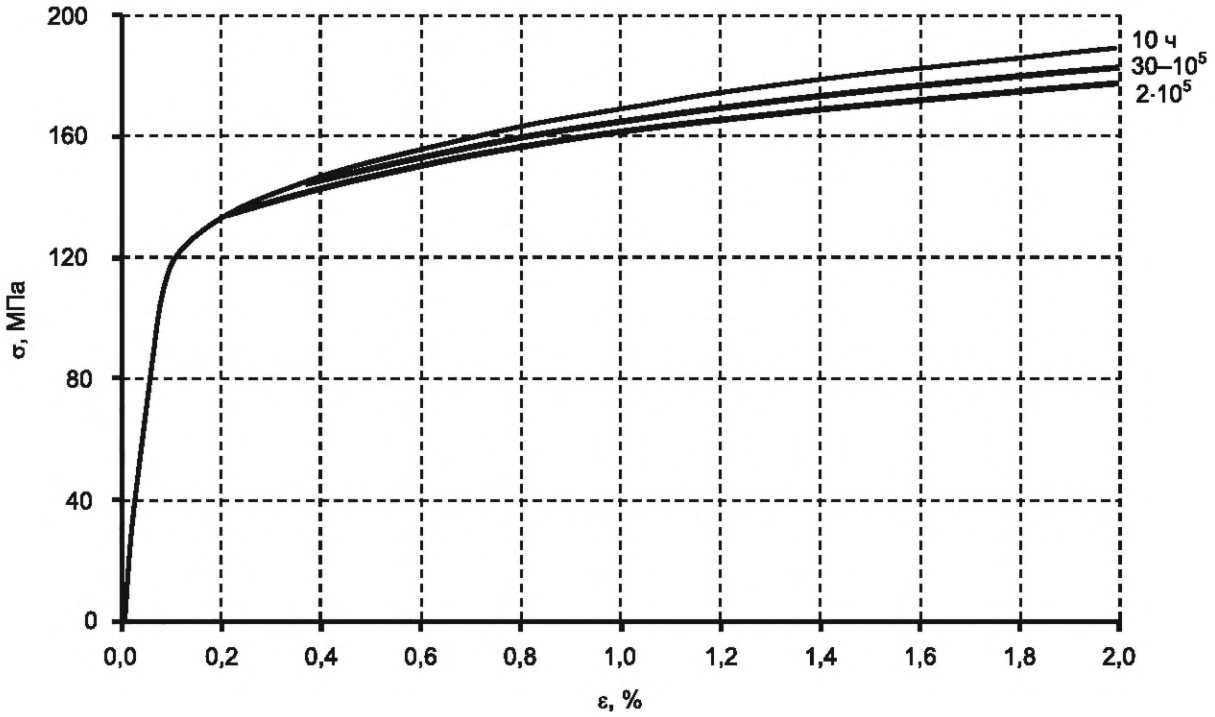


а) При T = 673 К (400 °С)

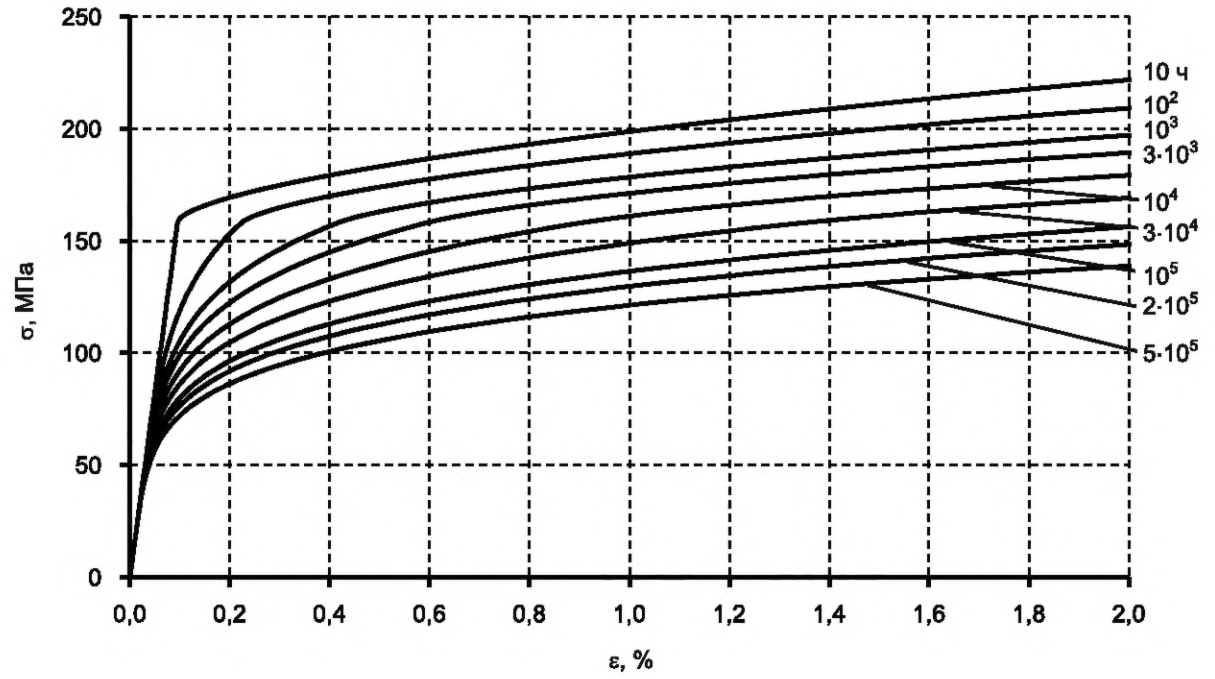


б) При T = 723 К (450 °С)

Рисунок Б.8 — Изохронные кривые деформирования стали марки 16ГНМА ($R_{p0,2}^{20}$ = 323 МПа; R_m^{20} = 493 МПа)

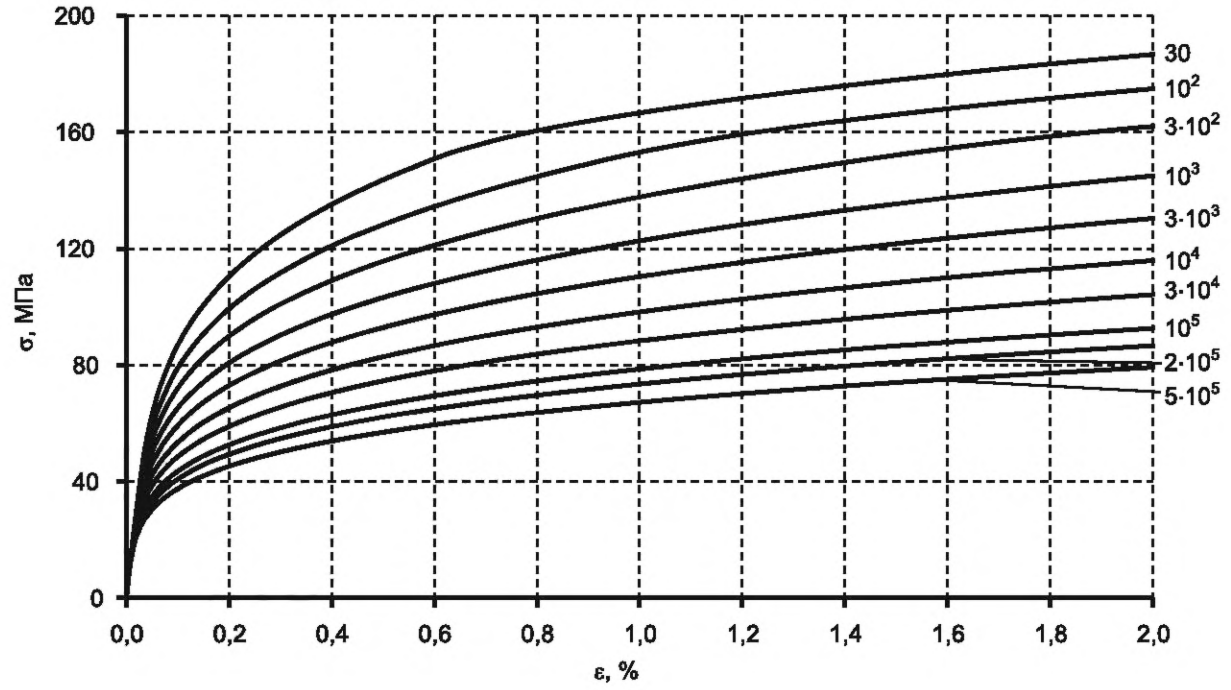


а) При T = 723 К (450 °С)

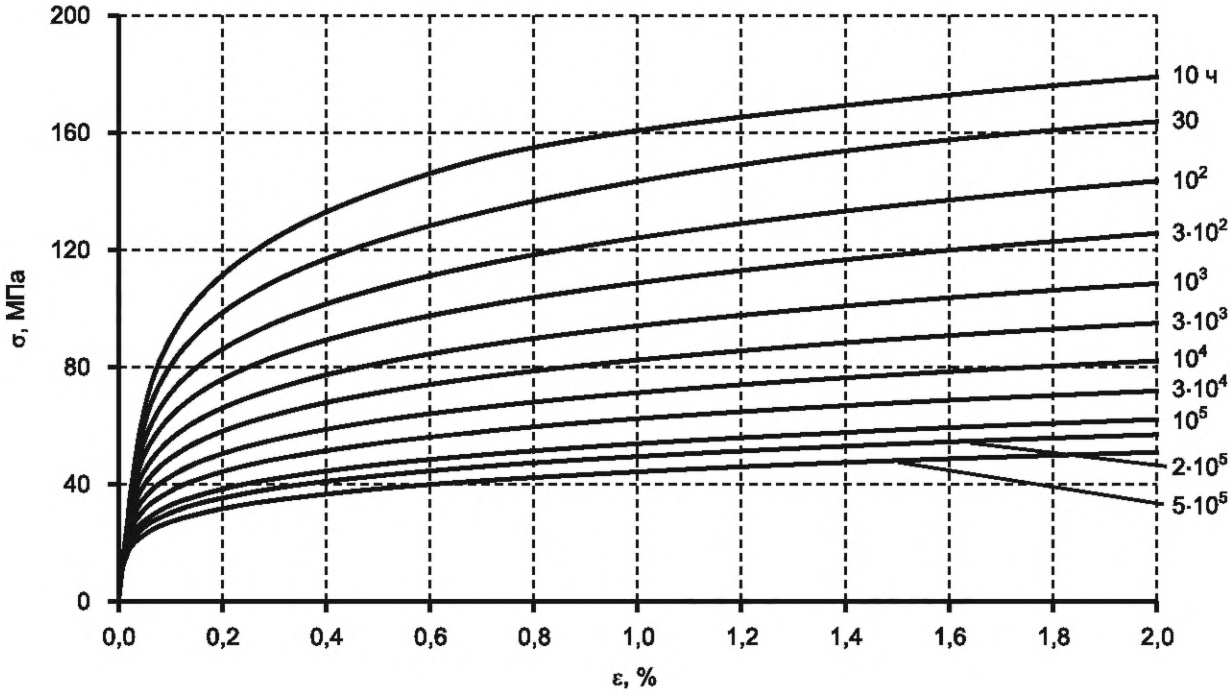


б) При T = 773 К (500 °С)

Рисунок Б.9 — Изохронные кривые деформирования стали марки 09Х18Н9 ($R_{p0,2}^{20}$ = 196 МПа; R_m^{20} = 490 МПа)

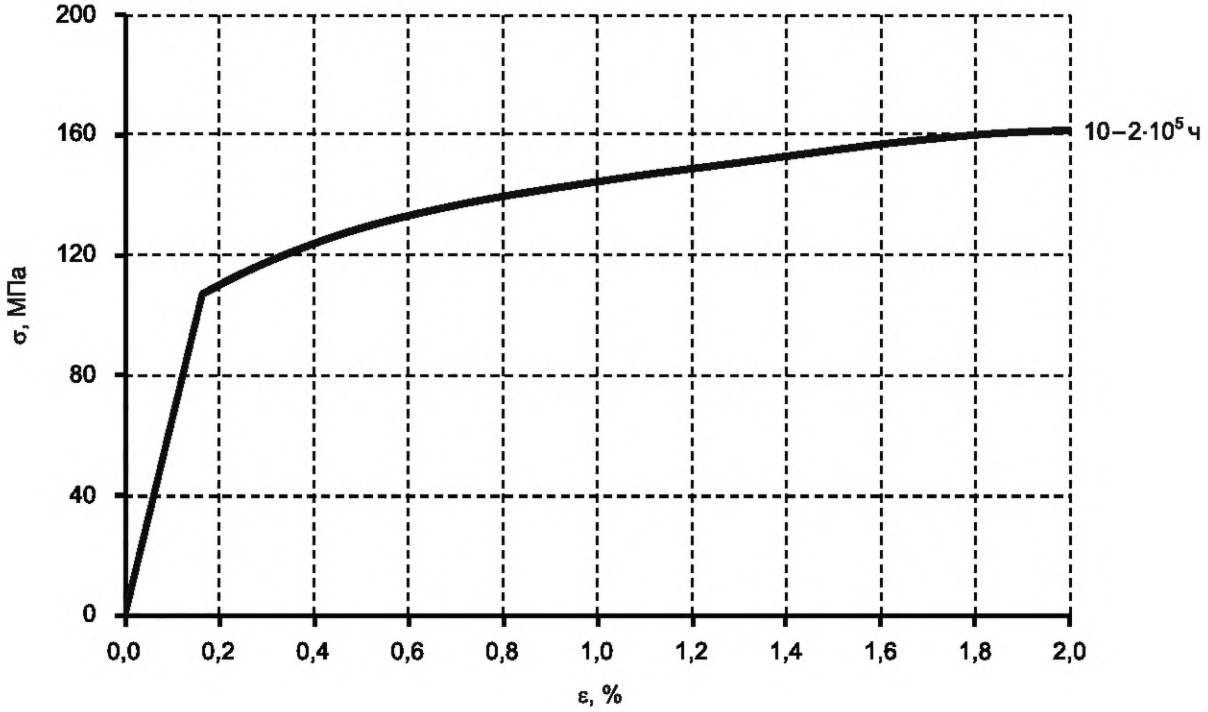


в) При T = 823 К (550 °С)

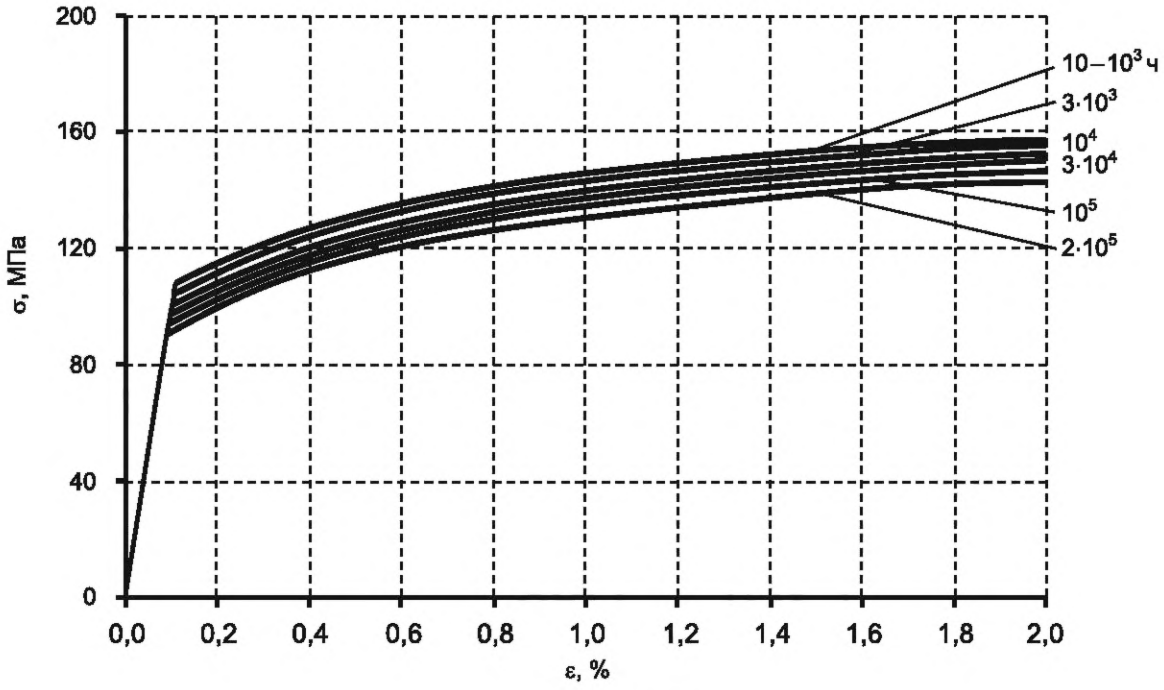


г) При T = 873 К (600 °С)

Рисунок Б.9, лист 2

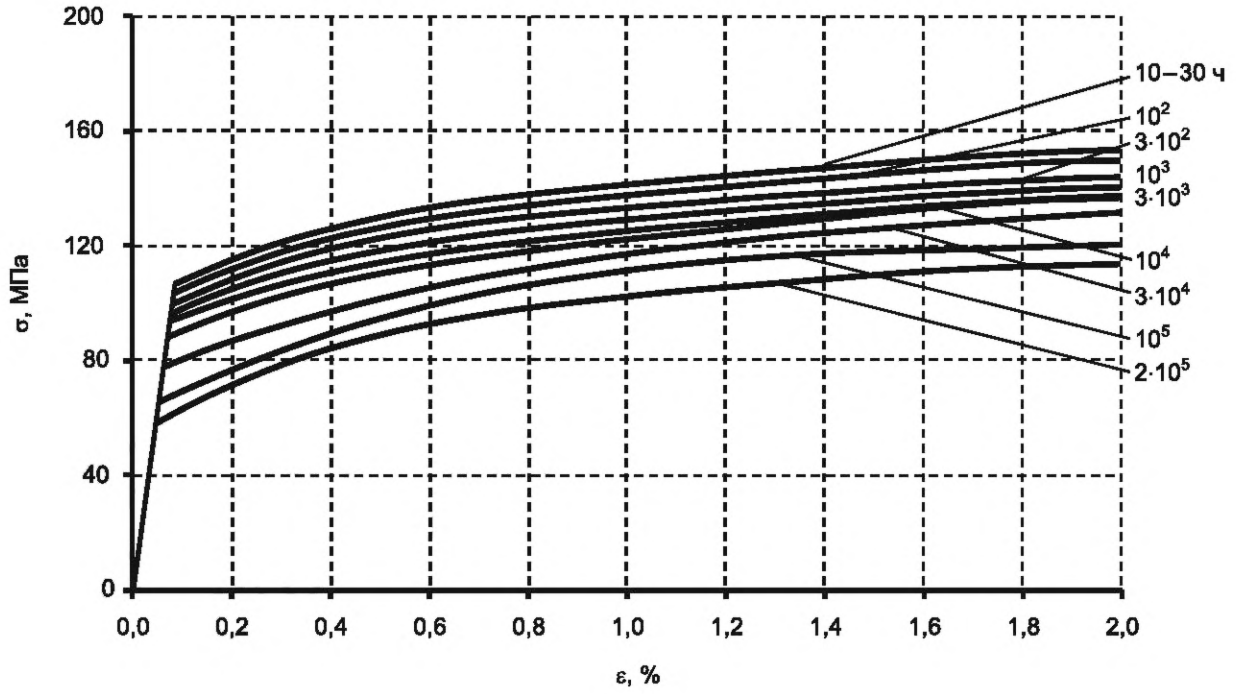


а) При T = 723 К (450 °С)

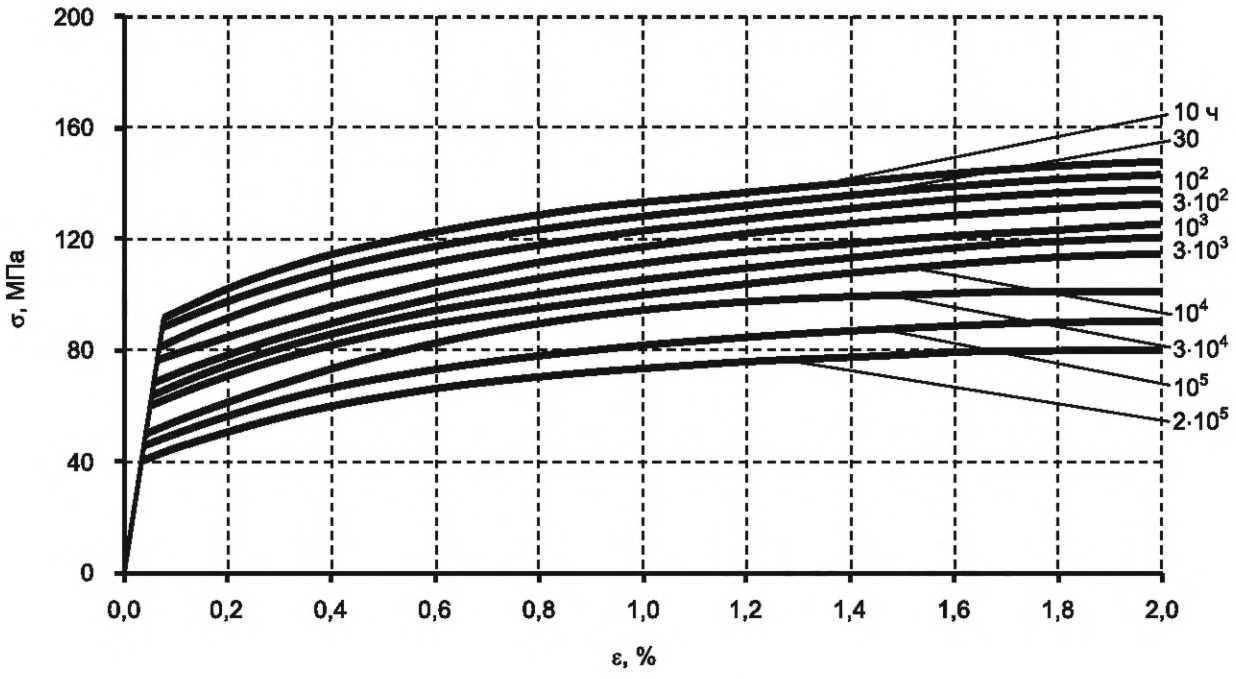


б) При T = 773 К (500 °С)

Рисунок Б.10 — Изохронные кривые деформирования стали марки 08Х18Н12Т ($R^{20}_{p0,2}$ = 196 МПа; R^{20}_{m} = 490 МПа)

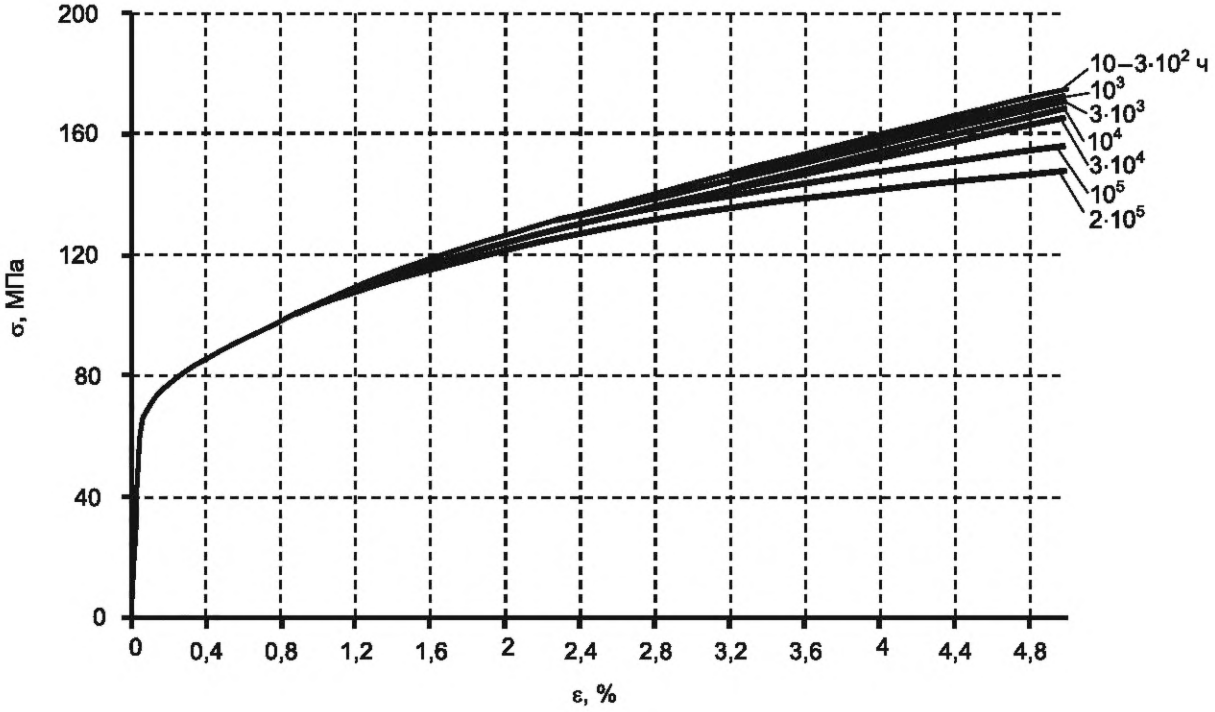


в) При T = 823 К (550 °С)

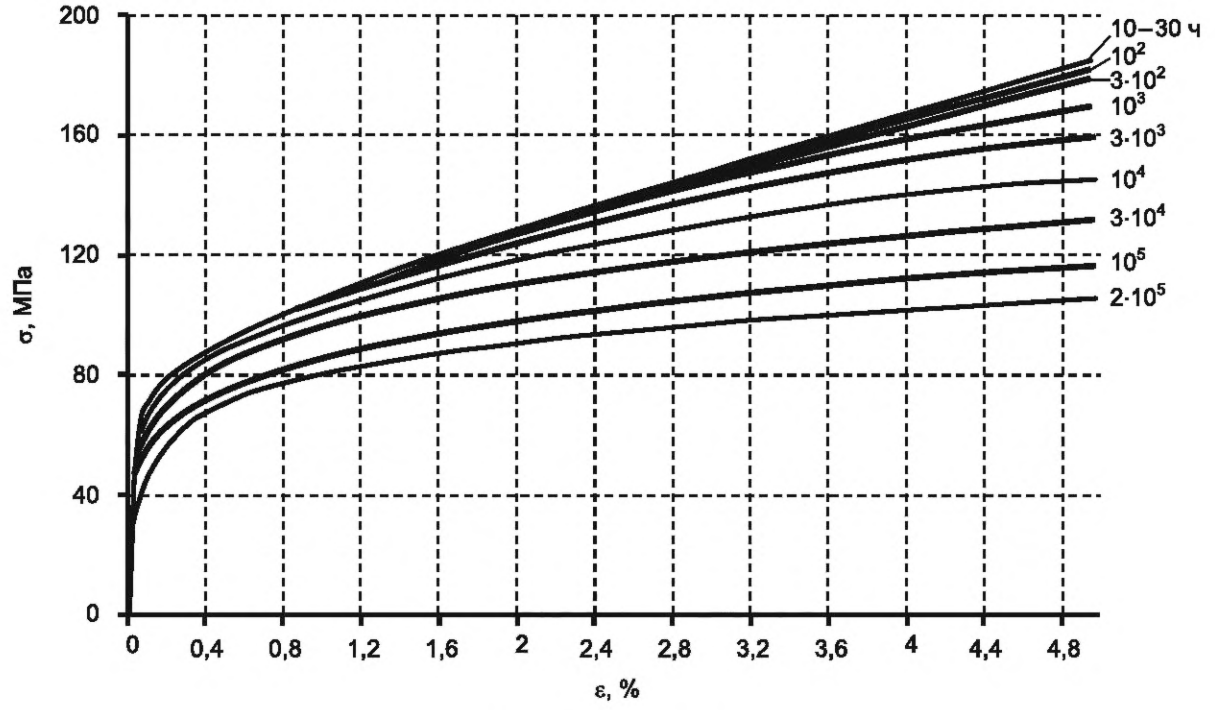


г) При T = 873 К (600 °С)

Рисунок Б.10, лист 2

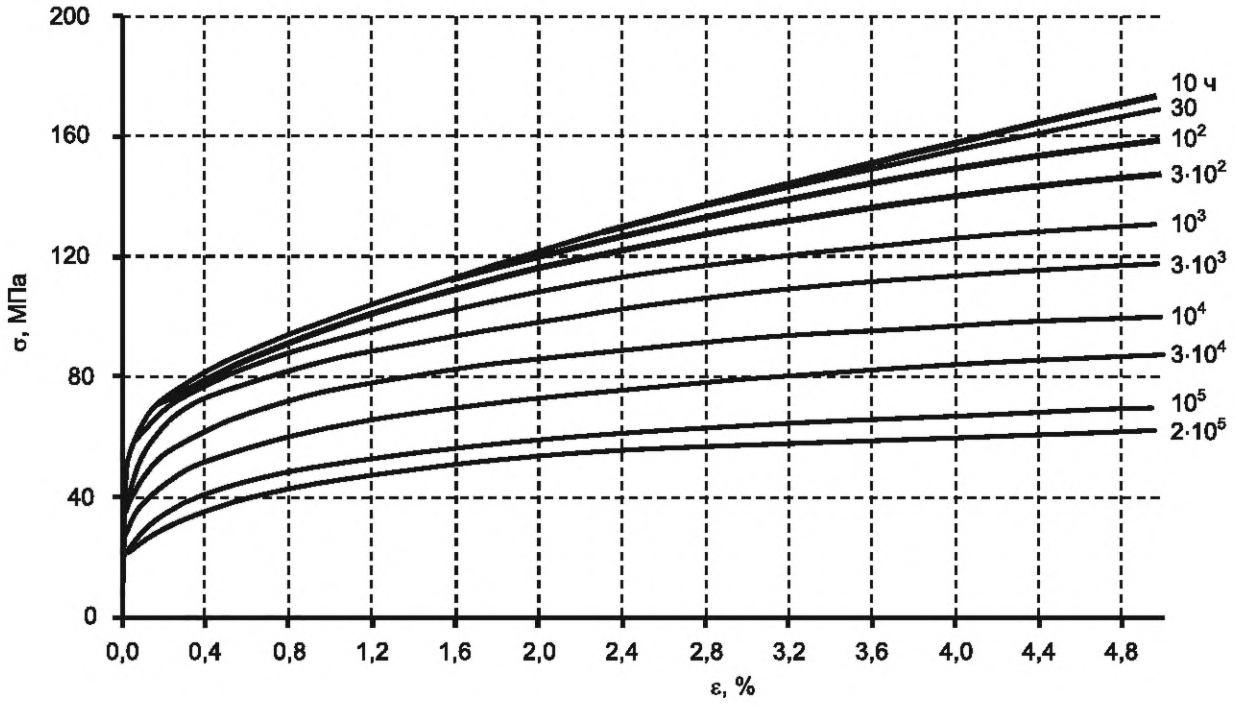


а) При T = 773 К (500 °С)

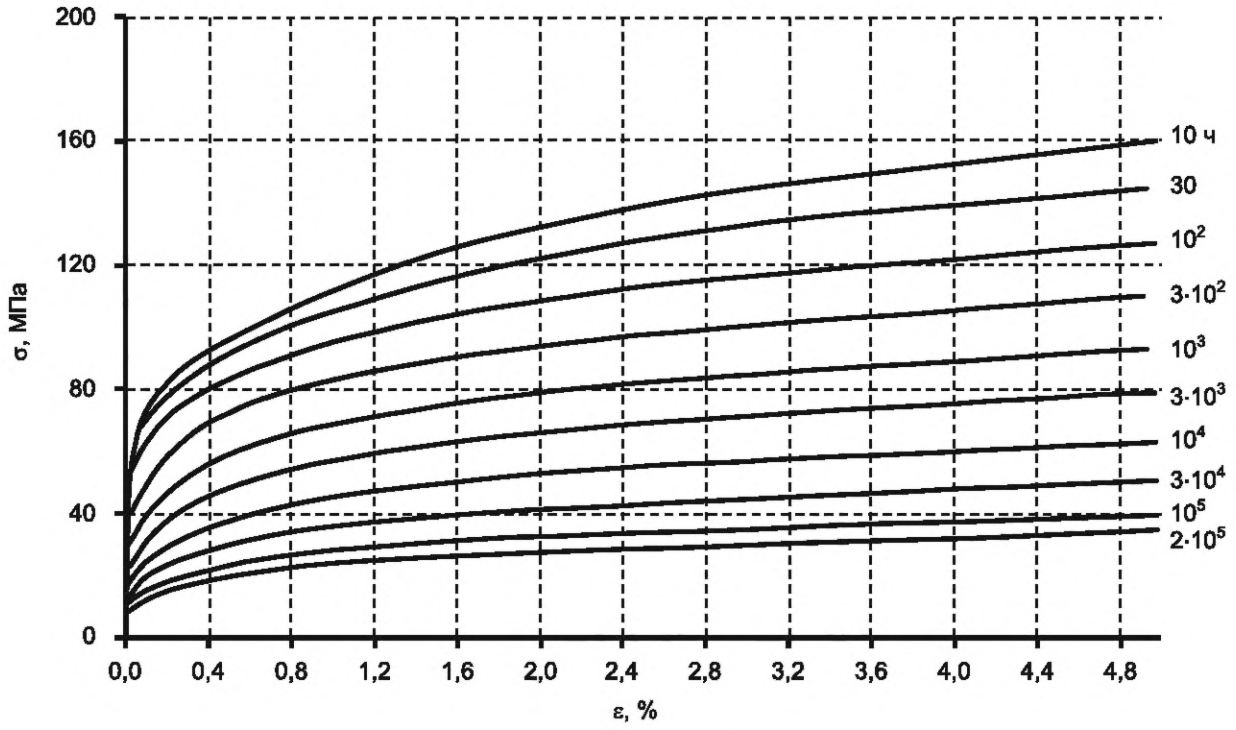


б) При T = 823 К (550 °С)

Рисунок Б.11 — Изохронные кривые деформирования стали марки 03Х16Н9М2 ($R^{20}_{p0,2}$ = 200 МПа; R^{20}_{m} = 520 МПа)

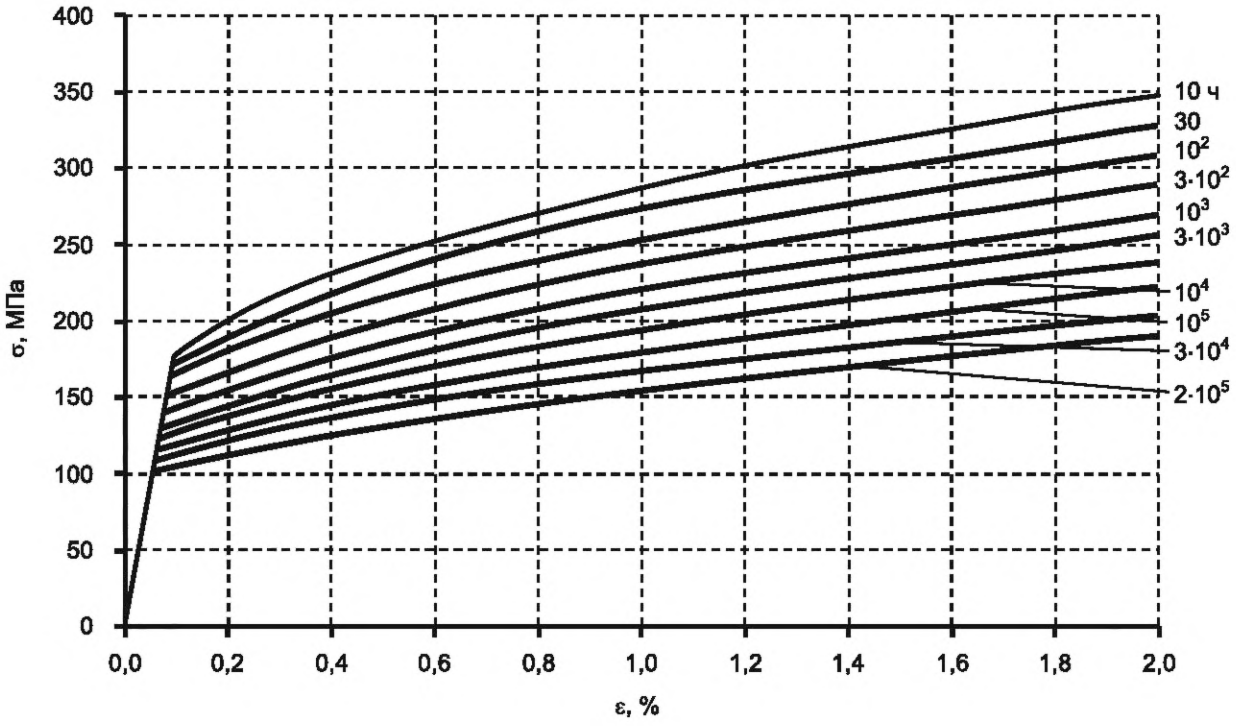


в) При T = 873 К (600 °С)

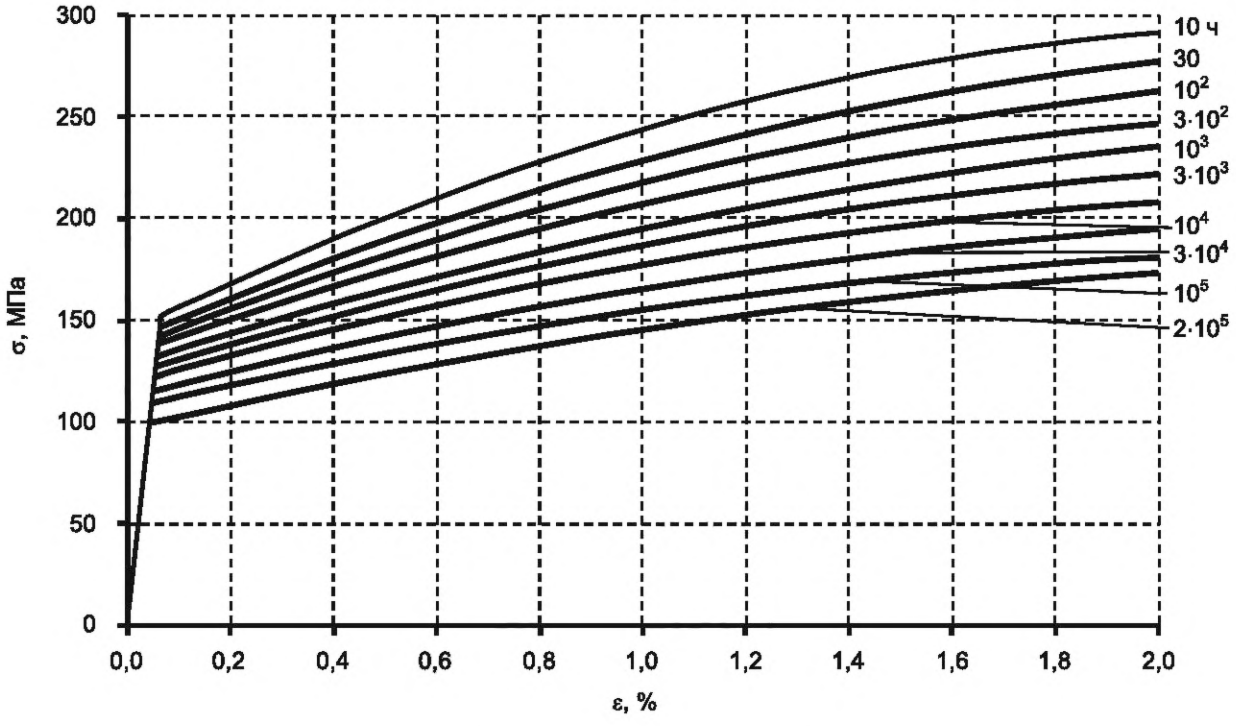


г) При T = 923 К (650 °С)

Рисунок Б.11, лист 2

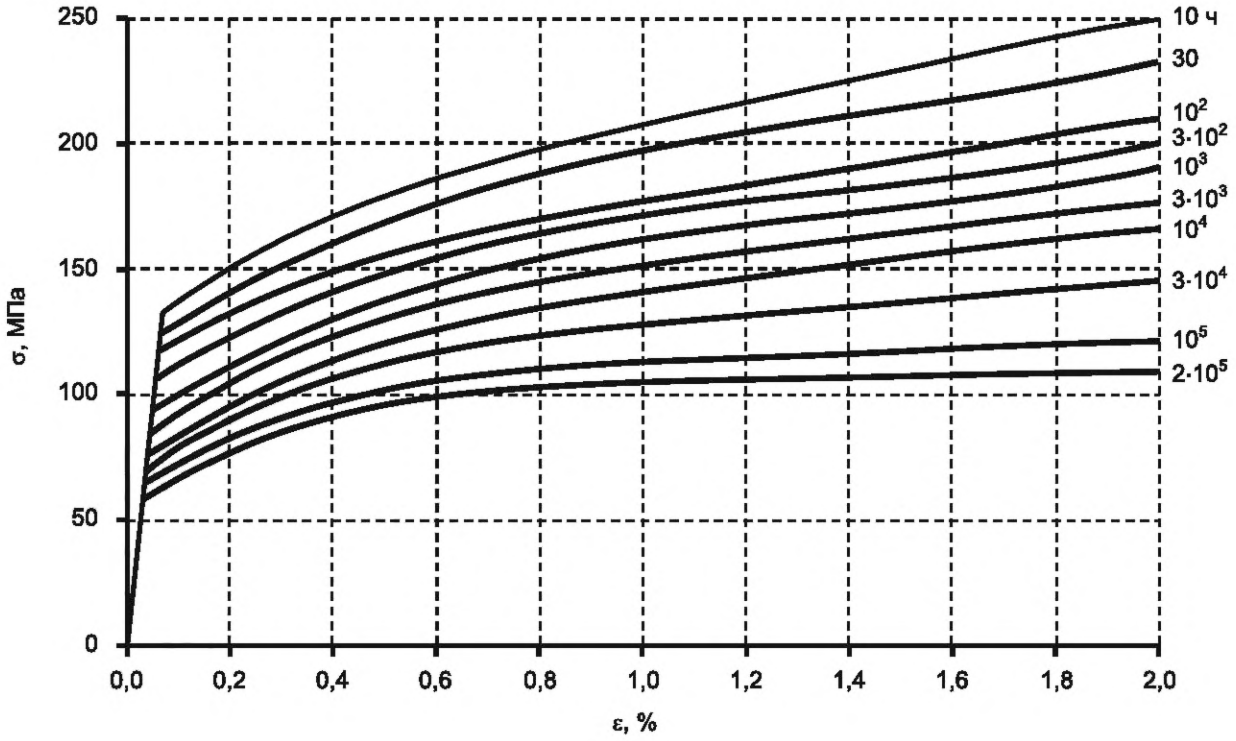


а) $R_{p0,2}^{20} \geq 440$ МПа; $R_m^{20} \geq 588$ МПа

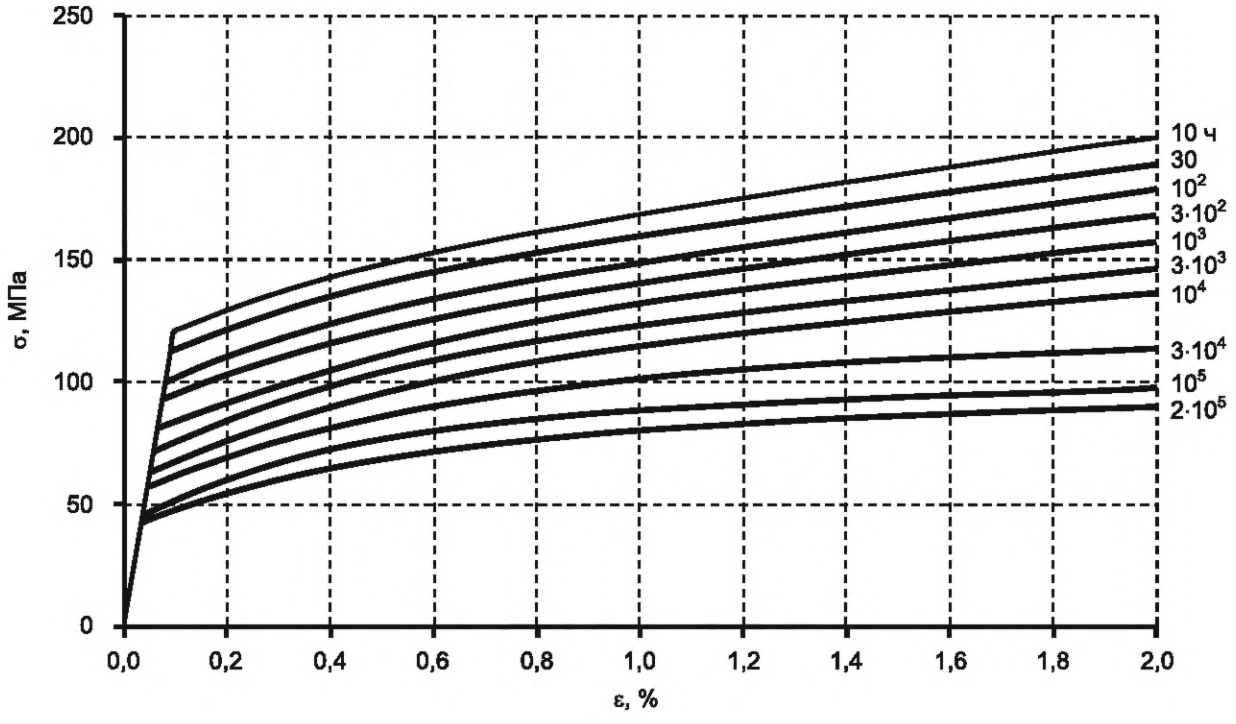


б) $R_{p0,2}^{20} \geq 345$ МПа; $R_m^{20} \geq 490$ МПа

Рисунок Б.12 — Изохронные кривые деформирования стали марки 10Х9МФБ при температуре T = 500 °С

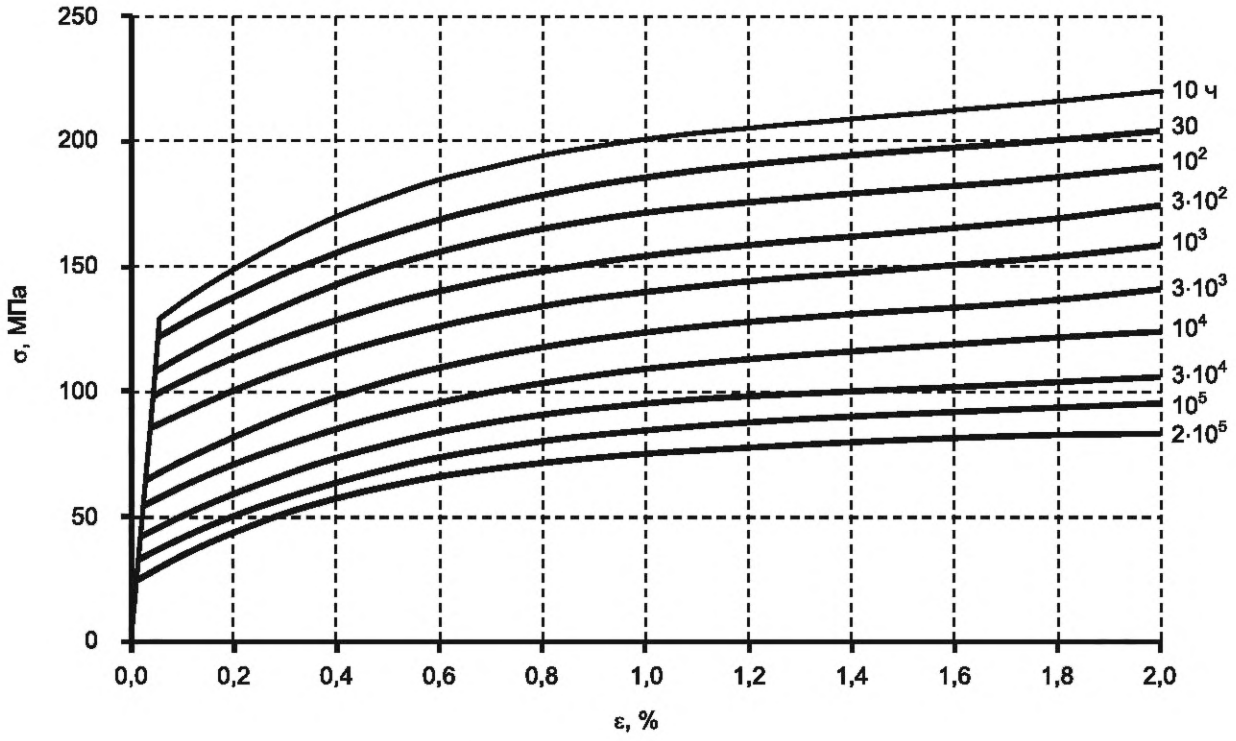


а) $R_{p0,2}^{20}$ ≥ 440 МПа; R_m^{20} ≥ 588 МПа

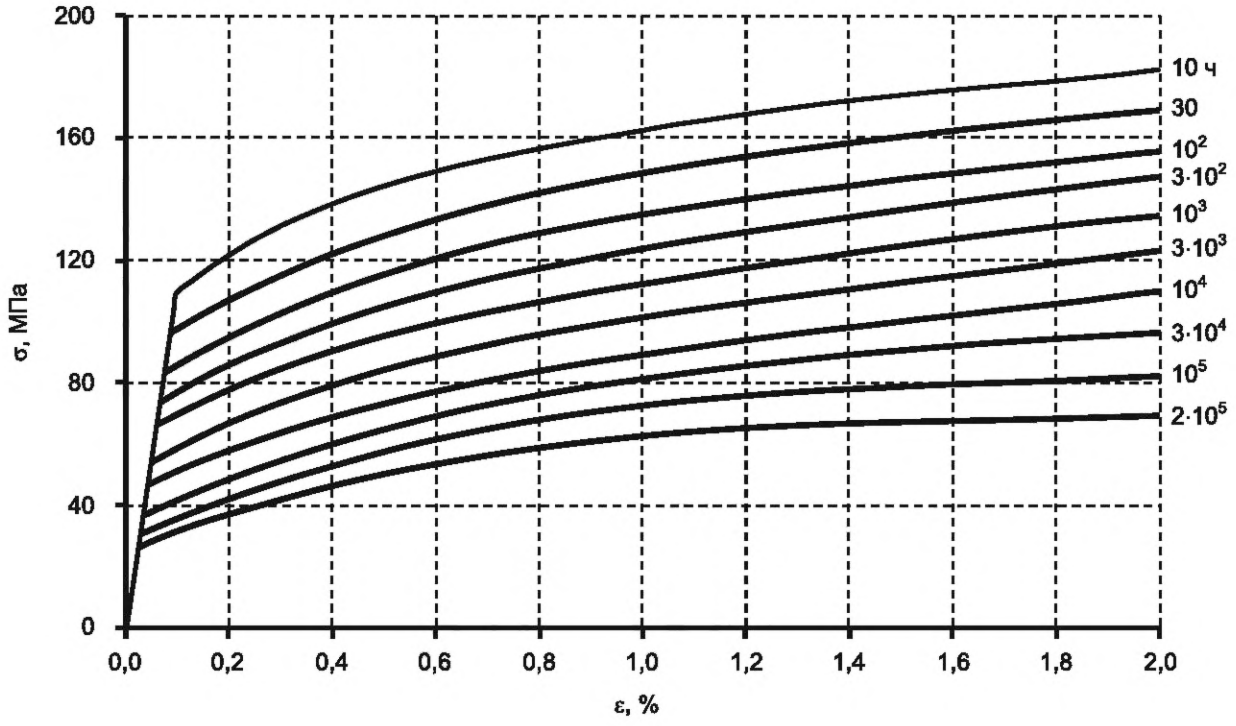


б) $R_{p0,2}^{20}$ ≥ 345 МПа; R_m^{20} ≥ 490 МПа

Рисунок Б.13 — Изохронные кривые деформирования стали марки 10Х9МФБ при температуре T = 550 °С

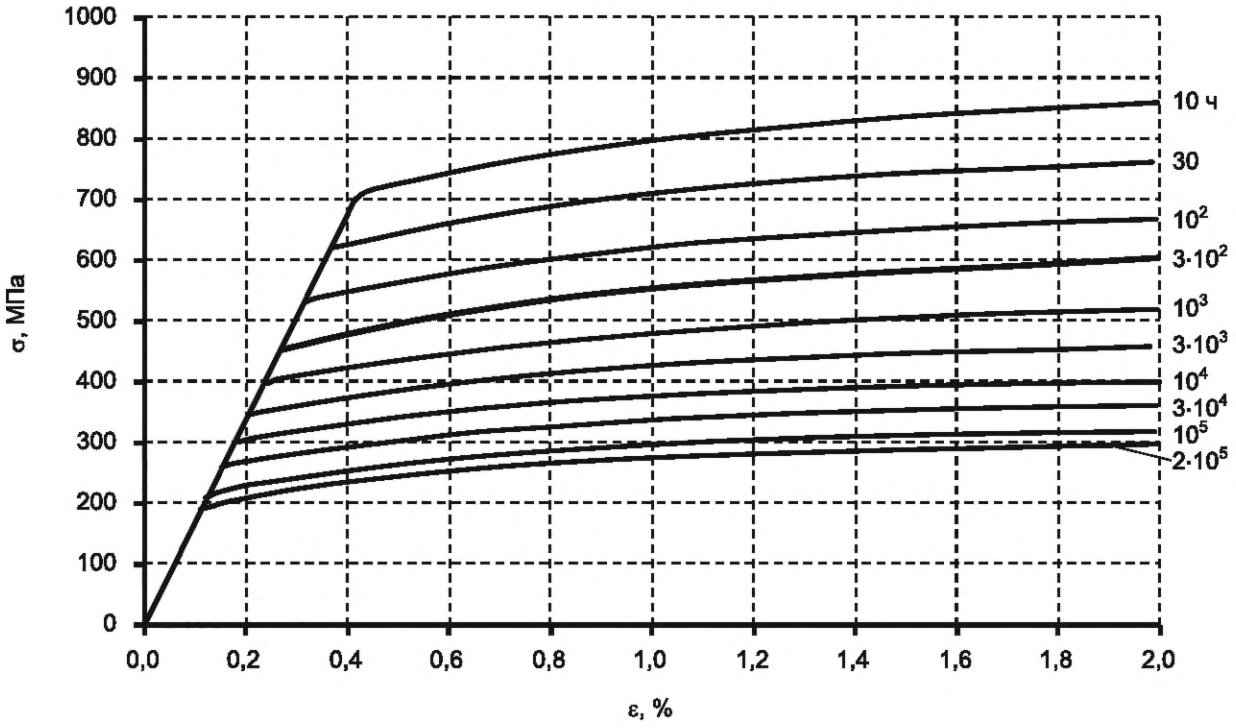


а) $R_{p0,2}^{20} \geq 440$ МПа; $R_m^{20} \geq 588$ МПа

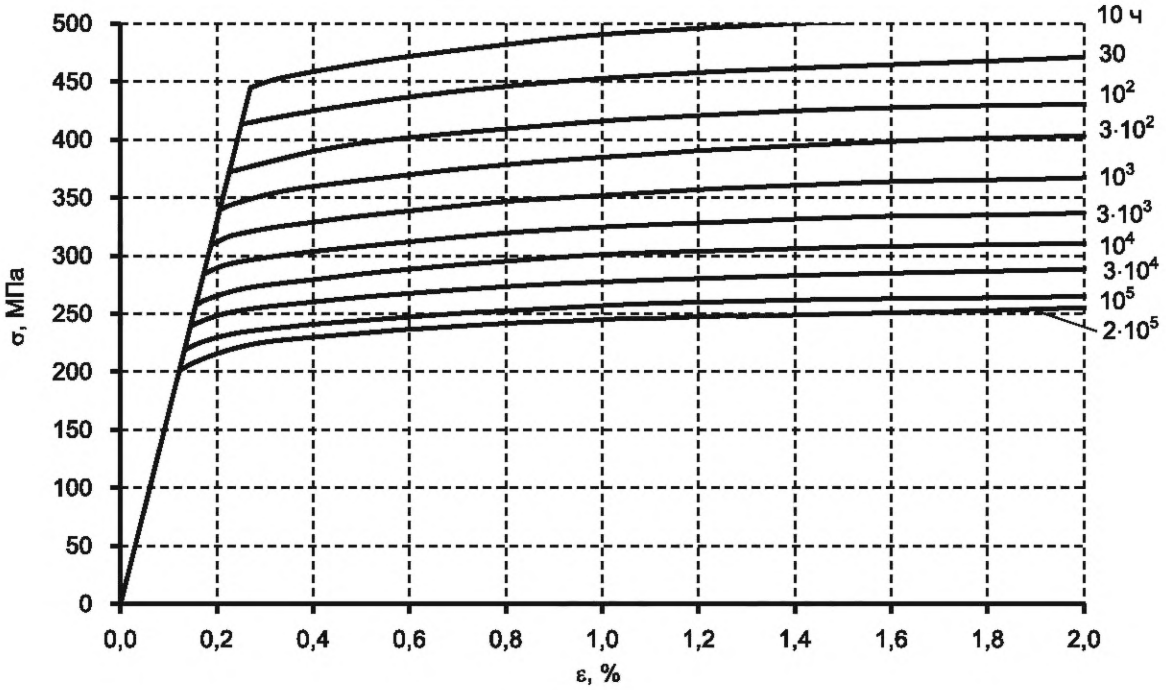


б) $R_{p0,2}^{20} \geq 345$ МПа; $R_m^{20} \geq 490$ МПа

Рисунок Б.14 — Изохронные кривые деформирования стали марки 10Х9МФБ при температуре T = 575 °С

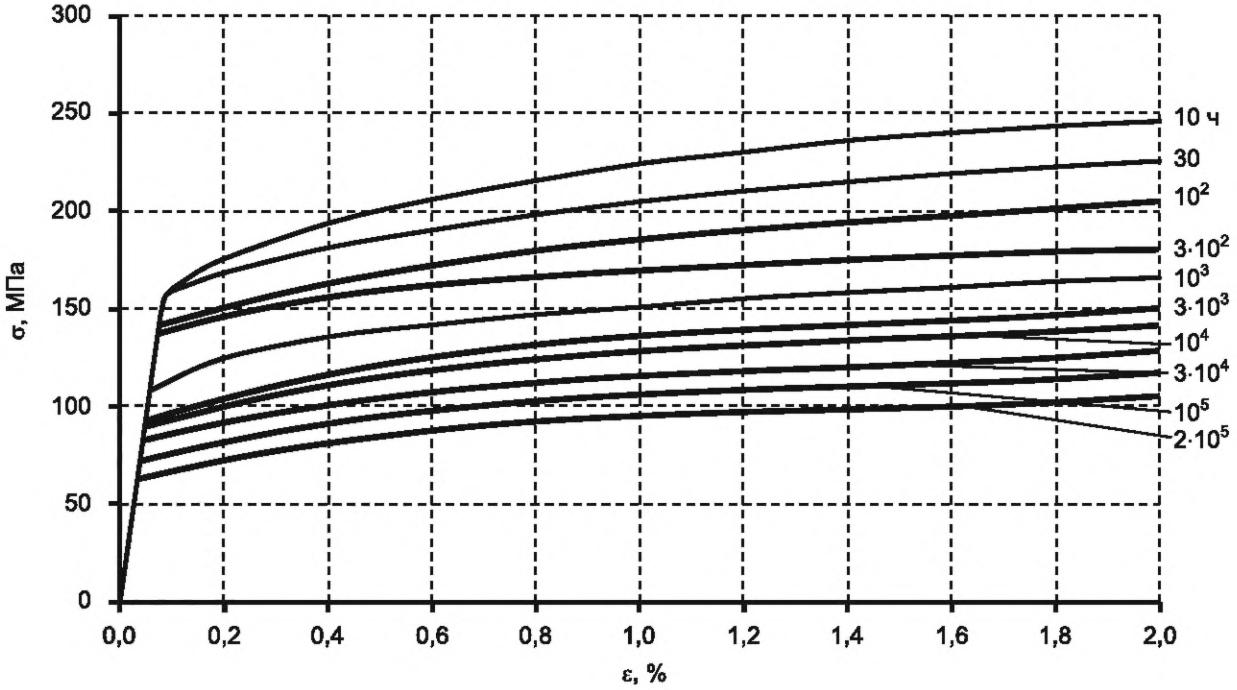


а) При T = 500 °С

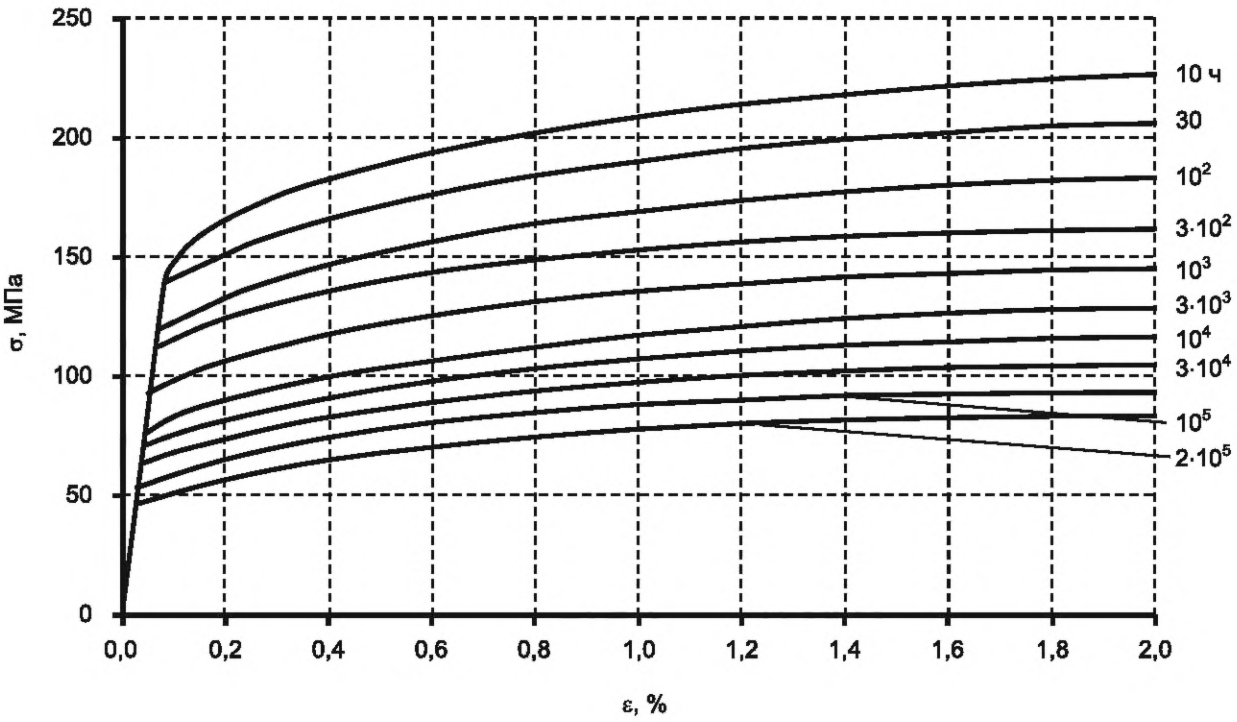


б) При T = 550 °С

Рисунок Б.15 — Изохронные кривые деформирования стали марки 20Х1М1Ф1ТР

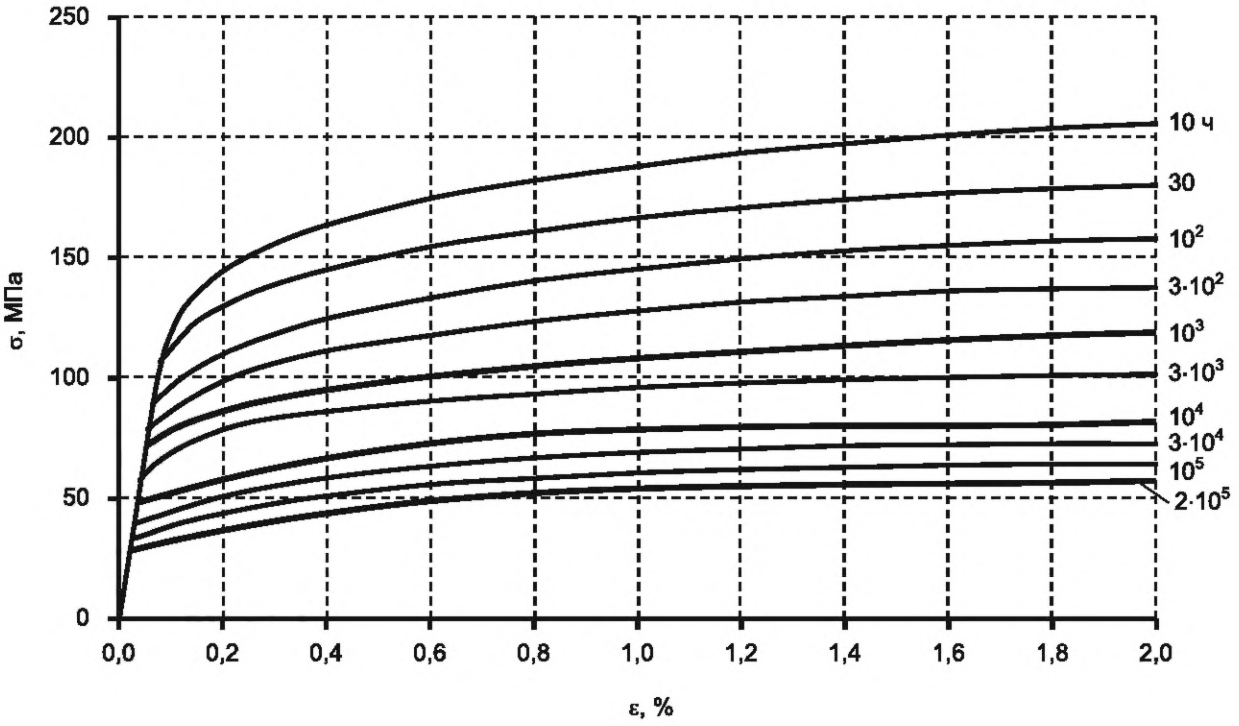


а) При T = 500 °С

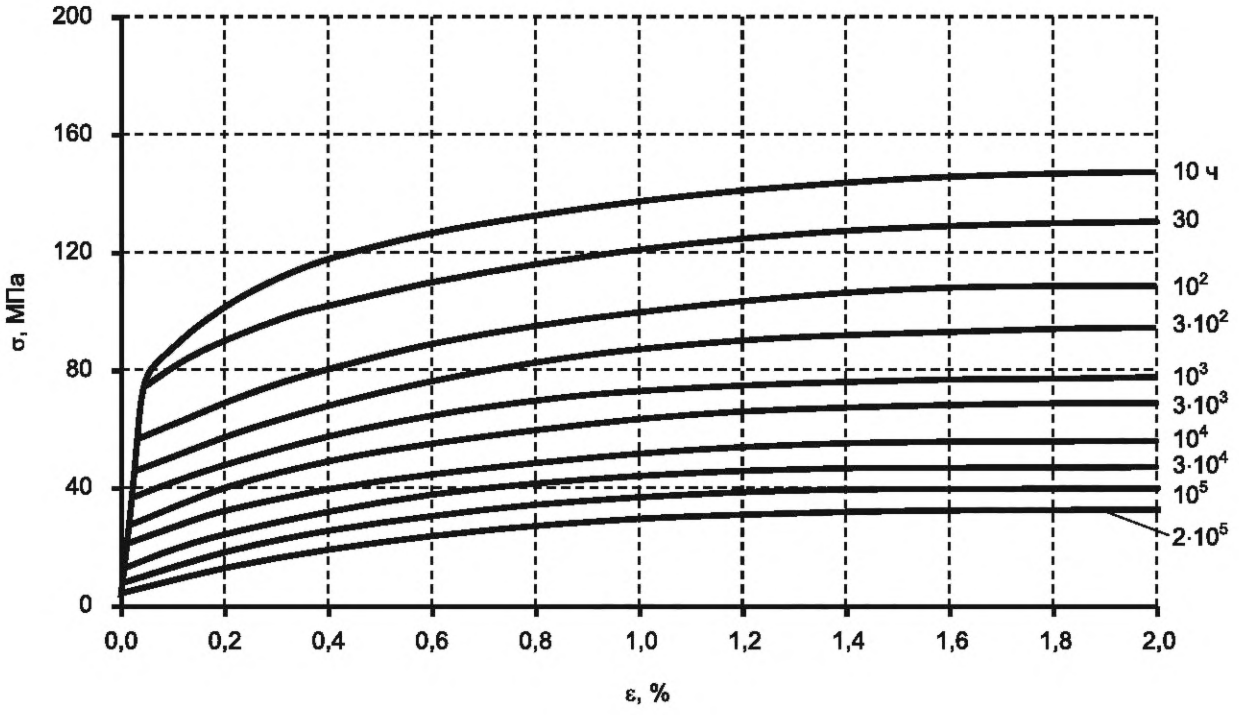


б) При T = 520 °С

Рисунок Б.16 — Изохронные кривые деформирования стали марки 10Х2М

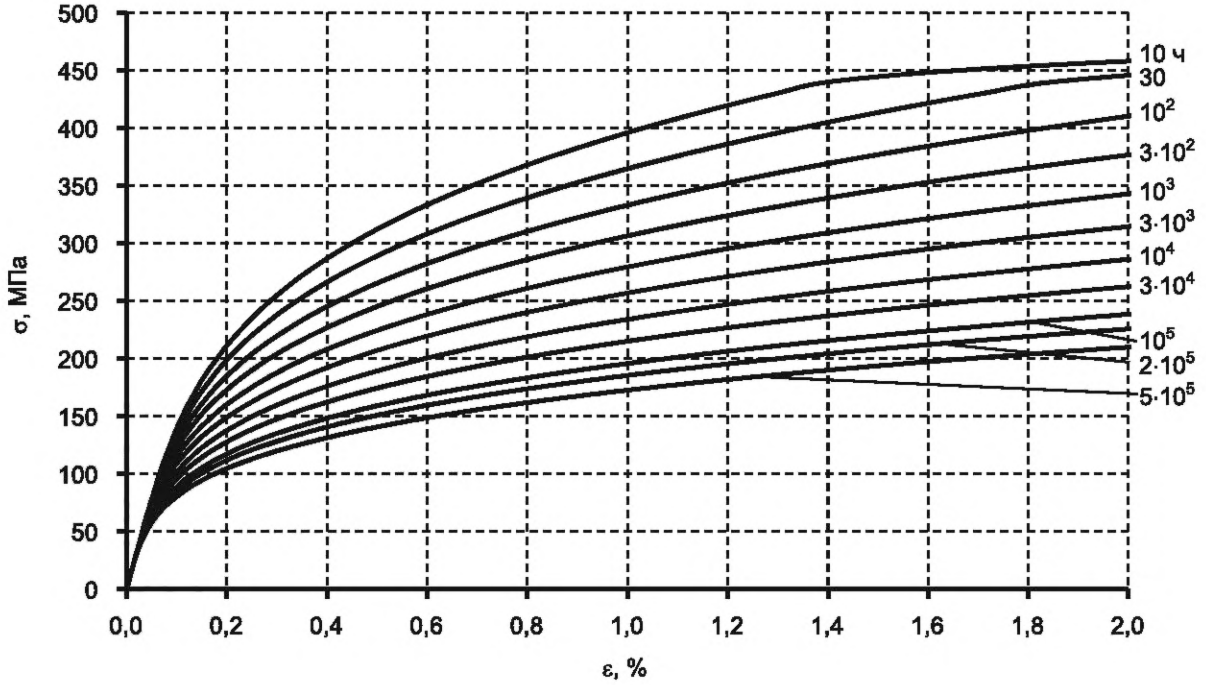


в) При T = 550 °С

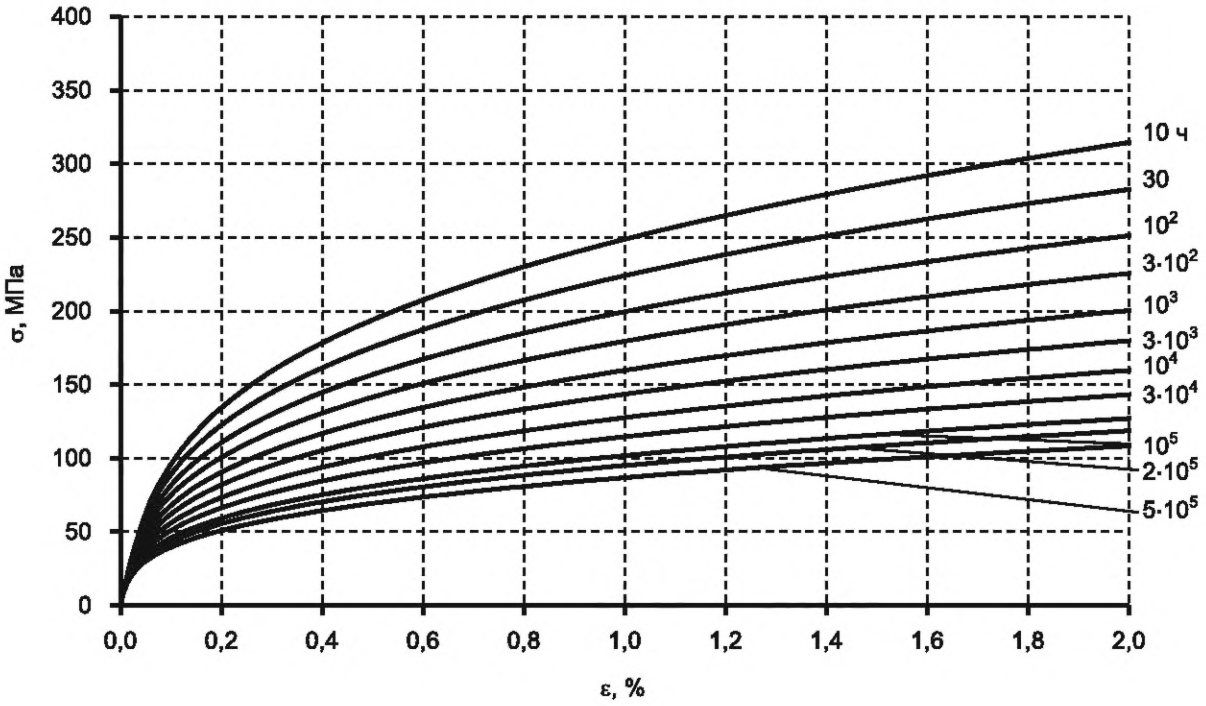


г) При T = 570 °С

Рисунок Б.16, лист 2

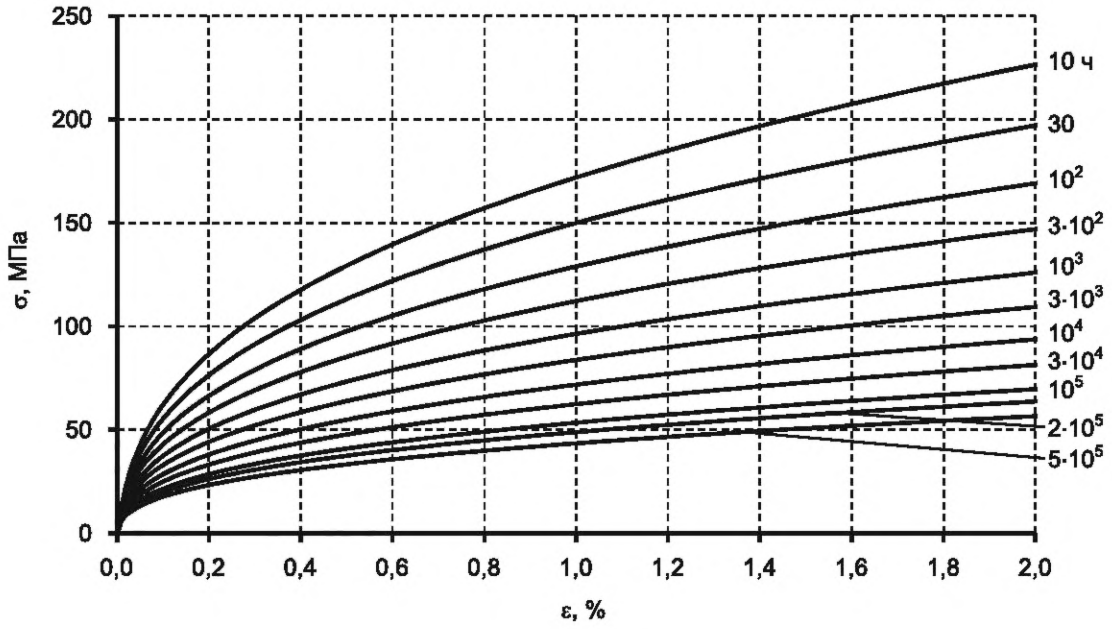


а) При T = 500 °С



б) При T = 550 °С

Рисунок Б.17 — Изохронные кривые деформирования стали марки 07Х12НМФБ



в) При T = 600 °С

Рисунок Б.17, лист 2

Б.6 Для сталей марок 07Х12НМФБ (см. рисунок Б.17), 08Х16Н11М3 (см. рисунок Б.9), 09Х18Н9 (см. рисунок Б.5) при построении изохронных кривых по уравнению (Б.6) использованы коэффициенты, приведенные в таблице Б.1. Пределы пропорциональности этих кривых приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.1 — Коэффициенты уравнения (Б.6) для сталей марок 07Х12НМФБ (см. рисунок Б.17), 08Х16Н11М3 (см. рисунок Б.9), 09Х18Н9 (см. рисунок Б.5)

T, °С	m_c	a_c	b	n_c	ε′, м/м
Сталь марки 07Х12НМФБ					
500	–2,29	$1{,}30 \cdot 10^{-16}$	$2{,}07 \cdot 10^{-13}$	12,4	0,040
550	–2,07	$1{,}60 \cdot 10^{-12}$	$1{,}25 \cdot 10^{-9}$	9,95	0,040
600	–1,87	$6{,}88 \cdot 10^{-10}$	$2{,}83 \cdot 10^{-7}$	7,68	0,040
Сталь марки 08Х16Н11М3					
500	–1,50	$7{,}35 \cdot 10^{-14}$	$1{,}86 \cdot 10^{-11}$	13,8	0,025
550	–1,10	$1{,}34 \cdot 10^{-11}$	$6{,}12 \cdot 10^{-10}$	12,5	0,031
600	–0,65	$1{,}20 \cdot 10^{-8}$	$8{,}76 \cdot 10^{-8}$	11,2	0,047
Сталь марки 09Х18Н9					
500	–1,50	$4{,}82 \cdot 10^{-13}$	$6{,}26 \cdot 10^{-11}$	13,5	0,039
550	–1,35	$8{,}77 \cdot 10^{-10}$	$4{,}40 \cdot 10^{-8}$	10,2	0,055
600	–0,63	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$	$2{,}67 \cdot 10^{-6}$	8,20	0,070

Таблица Б.2 — Пределы пропорциональности (в МПа) изохронных кривых для сталей марок 07Х12НМФБ (см. рисунок Б.17), 08Х16Н11М3 (см. рисунок Б.9), 09Х18Н9 (см. рисунок Б.5)

Марка стали, сплава	T, °С	Время, ч										
		10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
07Х12НМФБ	500	126	111	98	87	76	67	59	52	46	42	38
	550	51	44	37	31	26	22	19	16	13	13	11
	600	19	15	12	9	7	6	5	4	3	2	2

Окончание таблицы Б.2

Марка стали, сплава	T, °С	Время, ч										
		10	30	10^2	$3 \cdot 10^2$	10^3	$3 \cdot 10^3$	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
08Х16Н11М3	500	125	113	102	92	83	75	68	61	55	52	48
	550	113	102	91	82	73	65	59	52	47	44	40
	600	80	71	63	55	50	44	39	34	32	29	50
09Х18Н9	500	106	96	86	78	70	63	57	51	46	43	40
	550	55	47	41	35	30	26	23	20	17	15	14
	600	54	45	38	32	27	23	19	16	13	12	10

Б.7 Для алюминиевых сплавов марки САВ-1 допускается использование изохронных кривых, построенных по уравнению (Б.6) с коэффициентами, приведенными в таблице Б.3. Также данные коэффициенты допускается использовать при расчете напряженно-деформированного состояния с учетом ползучести конструкций, изготовленных из алюминиевых сплавов марки САВ-1. При напряжениях ниже значений, приведенных в таблице Б.3, скорость ползучести принимается постоянной.

Таблица Б.3 — Коэффициенты уравнения Б.3 для сплава САВ-1

T, °С	Уровень напряжений	$\dot{\varepsilon}$, 1/ч	b, 1/ч	n_c
100	$\sigma \le 80$ МПа	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	—	—
	$\sigma > 80$ МПа	—	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	6,2
200	$\sigma \le 50$ МПа	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$	—	—
	$\sigma > 50$ МПа	—	$5{,}6 \cdot 10^{-5}$	6,2

Б.8 Для определения предела пропорциональности R_{pe}^{T} по изохронным кривым используется приведенная ниже процедура.

За предел пропорциональности следует принимать наибольшее напряжение, при котором еще выполняется условие

$$\frac{d\varepsilon}{d\sigma} \le 1{,}5 \cdot \frac{1}{E^T}. \qquad (Б.10)$$

Графическая интерпретация метода приведена на рисунке Б.18.

В качестве приближенной оценки предела пропорциональности можно использовать напряжение соответствующее остаточной пластической деформации, равной 0,01 % (см. рисунок Б.18).

Б.9 Приближенную оценку релаксации напряжений для сталей, приведенных в приложении А, проводят по зависимости

$$\sigma(t) = \sigma_0 \left(1 + (n_c - 1) \cdot E^T \cdot \sigma_0^{n_c - 1} \cdot b \cdot t\right)^{\frac{1}{1-n_c}}, \qquad (Б.11)$$

где σ_0 — напряжение в начальный момент времени;

b, n_c — коэффициенты уравнения второй стадии ползучести в уравнении (Б.6).

Релаксационную стойкость (остаточное напряжение) шпилек и шайб определяют в соответствии с ГОСТ 20700—75 (приложение 4). Для шпилек и шайб из стали марки 20Х1М1Ф1ТР релаксационная стойкость (остаточное напряжение) приведена в таблице Б.4.

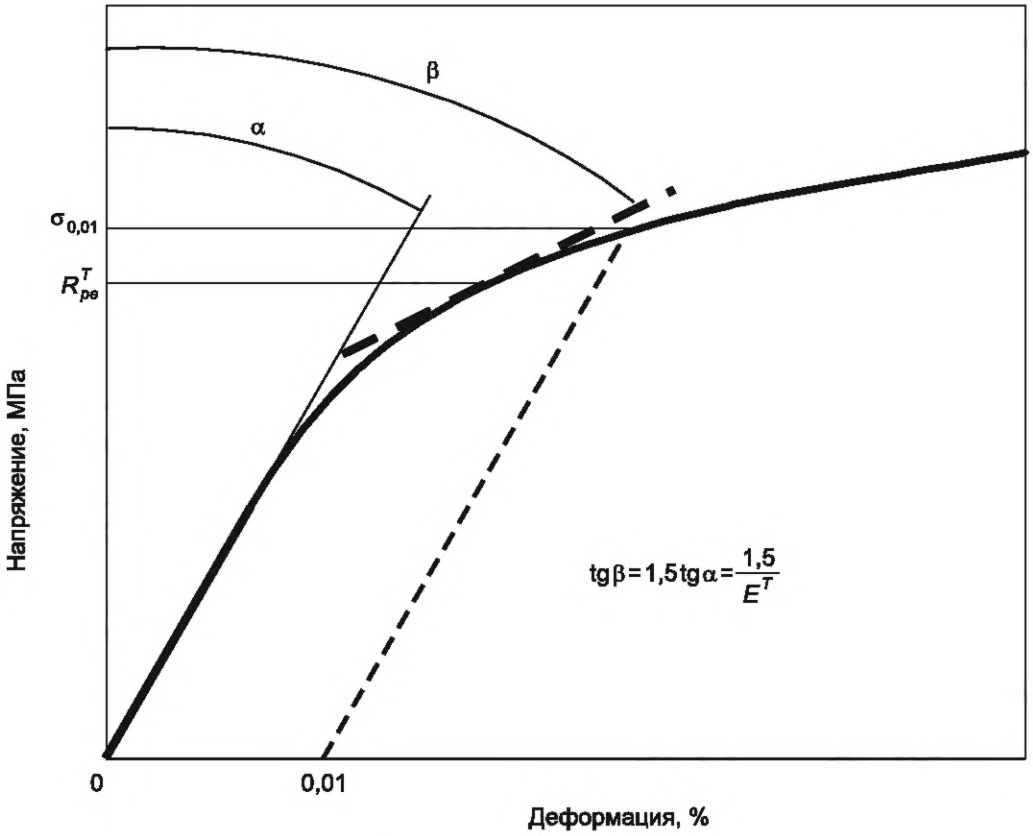


Рисунок Б.18 — Определение предела пропорциональности

Таблица Б.4 — Релаксационная стойкость деталей из стали марки 20Х1М1Ф1ТР

T, °С	σ_{mw0}, МПа	Время нагружения, ч					
		100	1000	3000	5000	8000	10000
		Остаточные напряжения σ_{mw}, МПа					
450	245,5	210,8	203,0	199,1	197,1	193,2	190,3
	294,2	253,0	245,2	238,3	233,4	231,4	227,5
	343,2	292,2	282,4	275,6	269,7	266,7	264,8
500	245,2	198,1	189,3	182,4	178,5	172,6	170,6
	294,2	238,3	223,6	220,7	214,8	208,9	203,0
	343,2	276,5	256,9	247,1	244,2	238,3	237,3
565	196,1	191,2	129,4	113,8	109,8	103,0	101,0
	245,2	174,6	147,1	132,4	121,6	113,8	108,9
	294,2	194,2	171,6	152,0	140,2	130,4	—
	343,2	219,7	187,9	164,8	—	—	—

Приложение В
(справочное)

Влияние облучения на длительную прочность сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9 и 08Х16Н11М3

В.1 Кривые длительной прочности в координатах «предел длительной прочности — время до разрушения»

В.1.1 Кривые длительной прочности в координатах «предел длительной прочности R^T_{mt} — время до разрушения t» используются при выборе основных размеров элемента (компонента) конструкции. Зависимости минимальных значений пределов длительной прочности R^T_{mt}, МПа, для различных температур T, °С, описываются следующим уравнением:

$$\lg(t) = a_0 + [(T + 273) - T_a] \cdot [b_0 + b_1 \lg R^T_{mt} + b_2 \cdot (\lg R^T_{mt})^2], \quad (В.1)$$

где a_0, b_0, b_1, b_2 — константы, зависящие от марки стали и скоростей набора повреждающей дозы, приведены в таблицах В.1 и В.2;

T_a — параметр; для сталей, приведенных в таблице А.1 — $T_a = 0$.

В.1.2 Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для различных скоростей набора повреждающей дозы Ф приведены в таблицах В.1 (стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9) и В.2 (сталь марки 08Х16Н11М3).

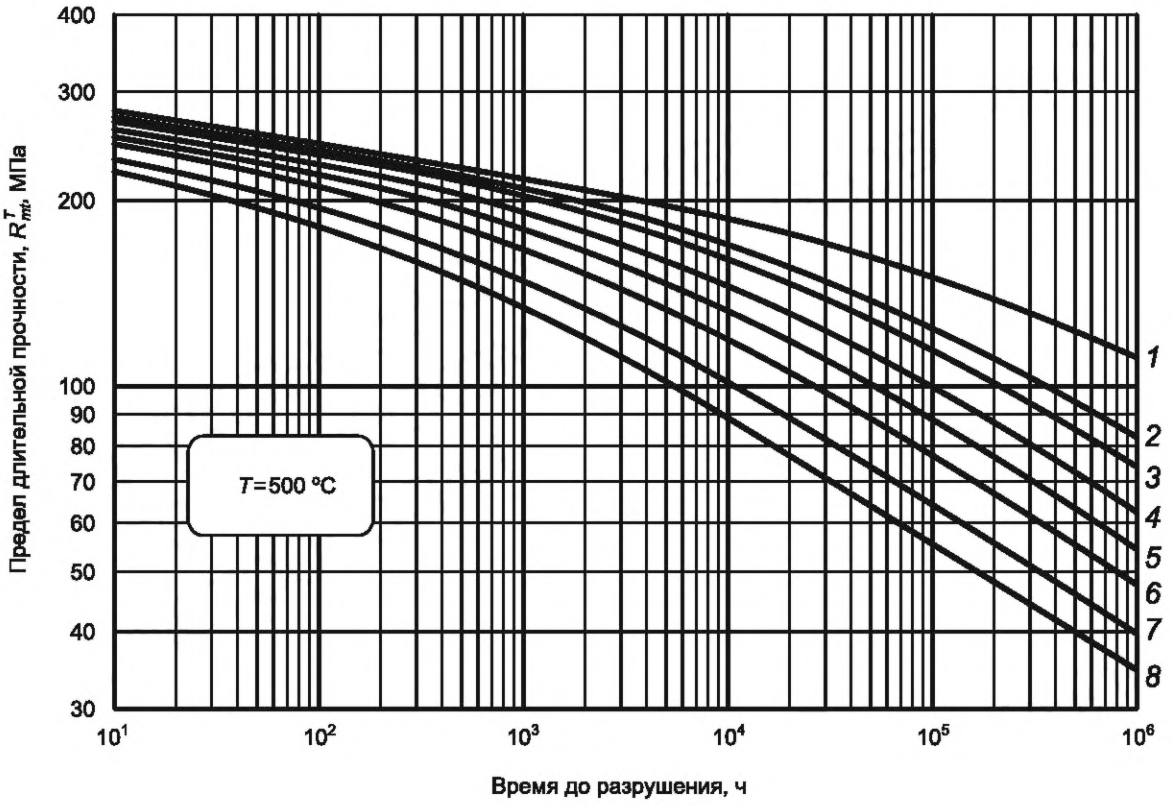
В.1.3 Кривые минимальных значений пределов длительной прочности R^T_{mt} для температур 500 °С, 550 °С и 600 °С и скоростей набора повреждающих доз Ф от 0 до 1,43 сна/год приведены на рисунках В.1 (стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9) и В.2 (сталь марки 08Х16Н11М3).

Таблица В.1 — Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9

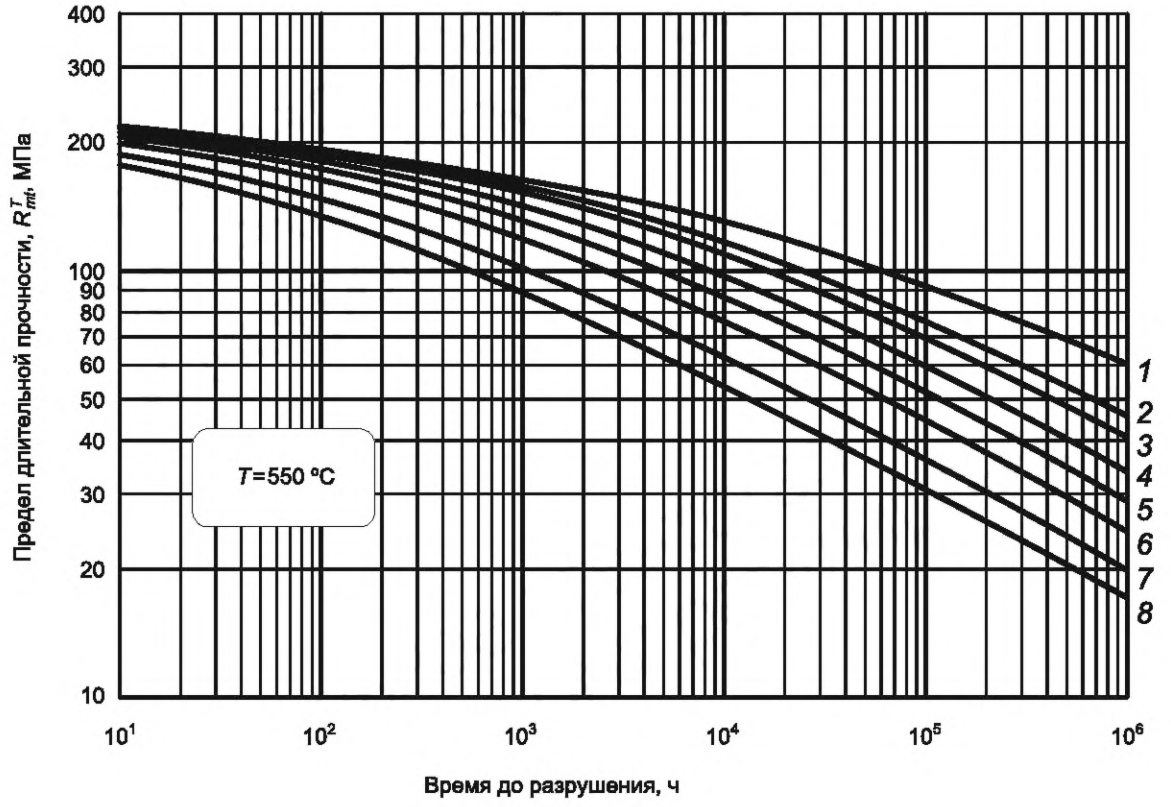
Скорость набора повреждающей дозы Ф, сна/год	a_0	b_0	b_1	b_2
0	26,54	–0,05063	0,033730	–0,010760
$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	22,00	–0,03623	0,023570	–0,008045
$2{,}86 \cdot 10^{-2}$	20,50	–0,03079	0,019390	–0,006916
$7{,}15 \cdot 10^{-2}$	18,86	–0,02488	0,014790	–0,005691
$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	17,98	–0,02084	0,011270	–0,004756
$2{,}86 \cdot 10^{-1}$	17,43	–0,01783	0,008385	–0,003984
$7{,}15 \cdot 10^{-1}$	17,07	–0,01497	0,005233	–0,003133
1,43	16,97	–0,01336	0,003207	–0,002583

Таблица В.2 — Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для стали марки 08Х16Н11М3

Скорость набора повреждающей дозы Ф, сна/год	a_0	b_0	b_1	b_2
0	27,20	–0,06128	0,044030	–0,013220
$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	21,99	–0,04088	0,028990	–0,009387
$2{,}86 \cdot 10^{-2}$	20,38	–0,03552	0,025200	–0,008407
$7{,}15 \cdot 10^{-2}$	18,34	–0,02850	0,020110	–0,007095
$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	16,99	–0,02309	0,015940	–0,006034
$2{,}86 \cdot 10^{-1}$	15,91	–0,01915	0,012900	–0,005262
$7{,}15 \cdot 10^{-1}$	14,97	–0,01340	0,007621	–0,003896
1,43	14,42	–0,01071	0,005070	–0,003221

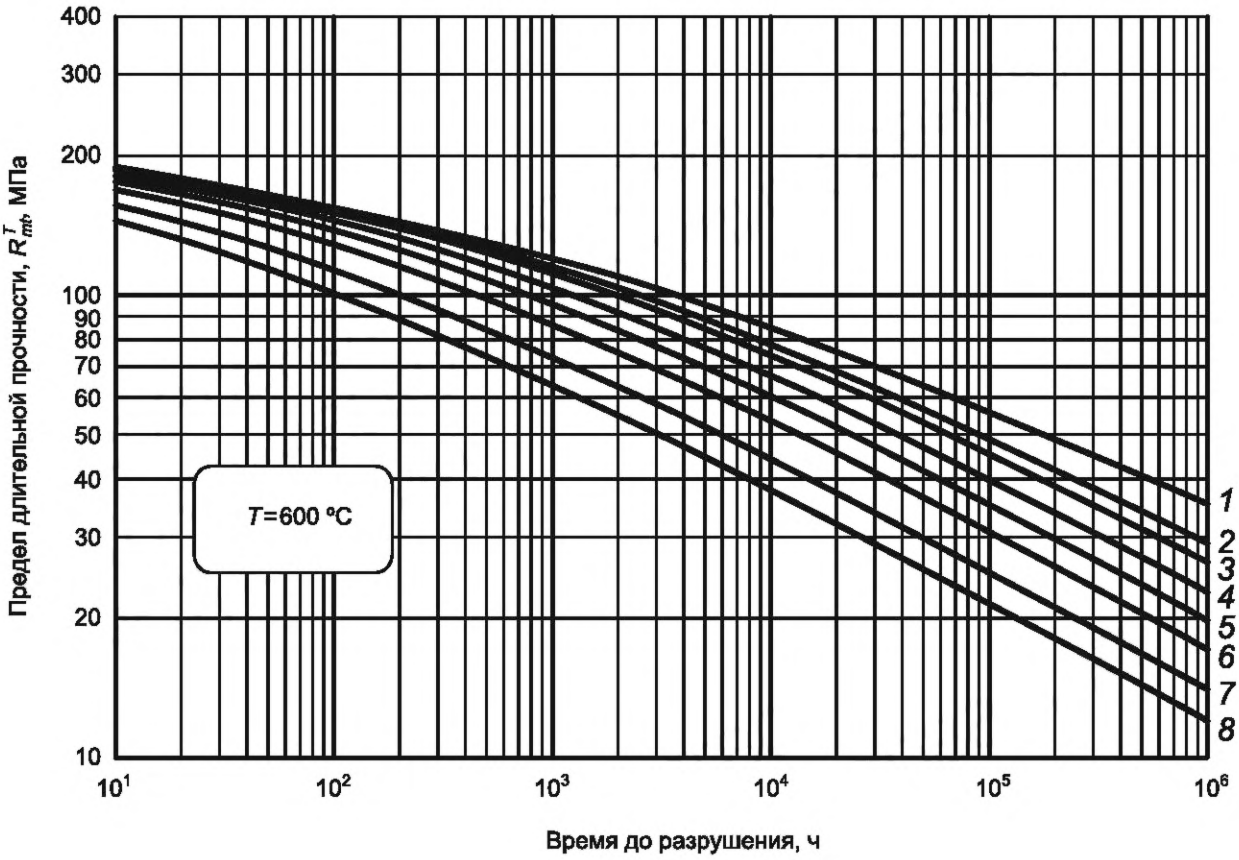


а) При T = 500 °С



б) При T = 550 °С

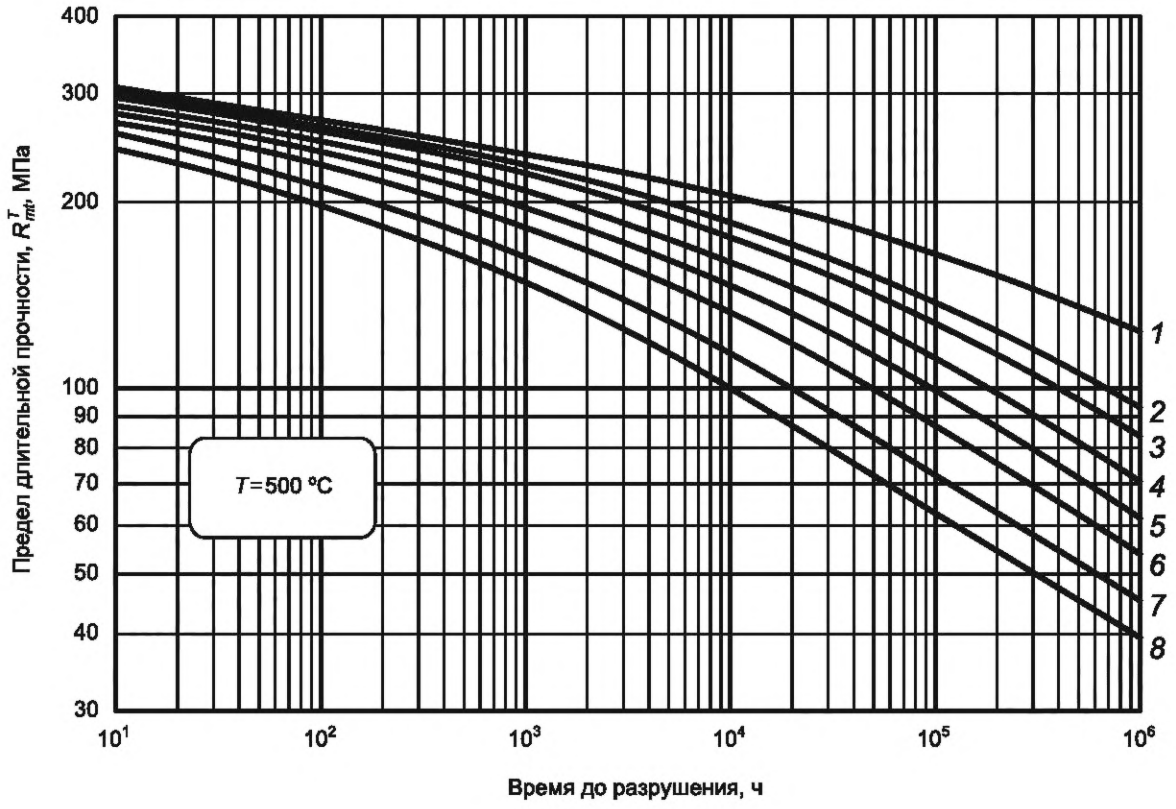
Рисунок В.1 — Кривые минимальных значений пределов длительной прочности R_{mt}^T стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9 при различных температурах T и скоростях повреждающей дозы Ф



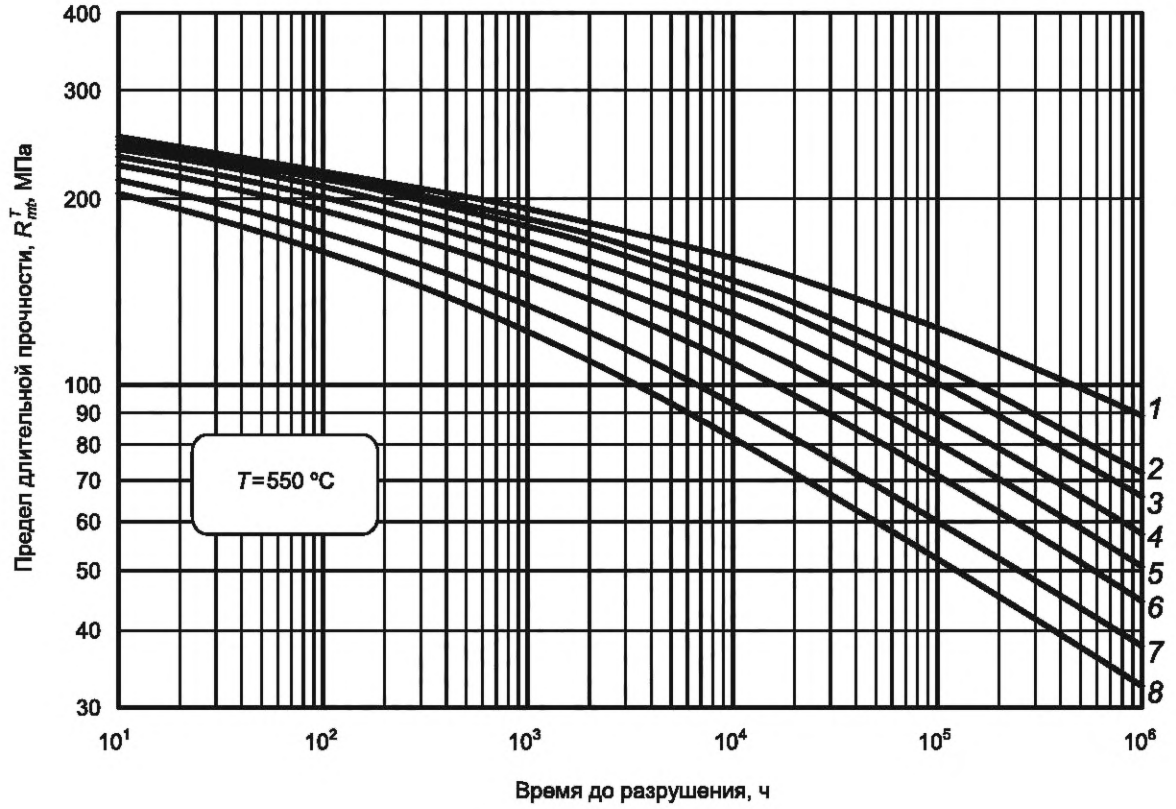
в) При T = 600 °С

1 — исходное состояние; *2* — Ф = 1,43 · 10^{-2} сна/год; *3* — Ф = 2,86 · 10^{-2} сна/год; *4* — Ф = 7,15 · 10^{-2} сна/год; *5* — Ф = 1,43 · 10^{-1} сна/год; *6* — Ф = 2,86 · 10^{-1} сна/год; *7* — Ф = 7,15 · 10^{-1} сна/год; *8* — Ф = 1,43 сна/год

Рисунок В.1, лист 2

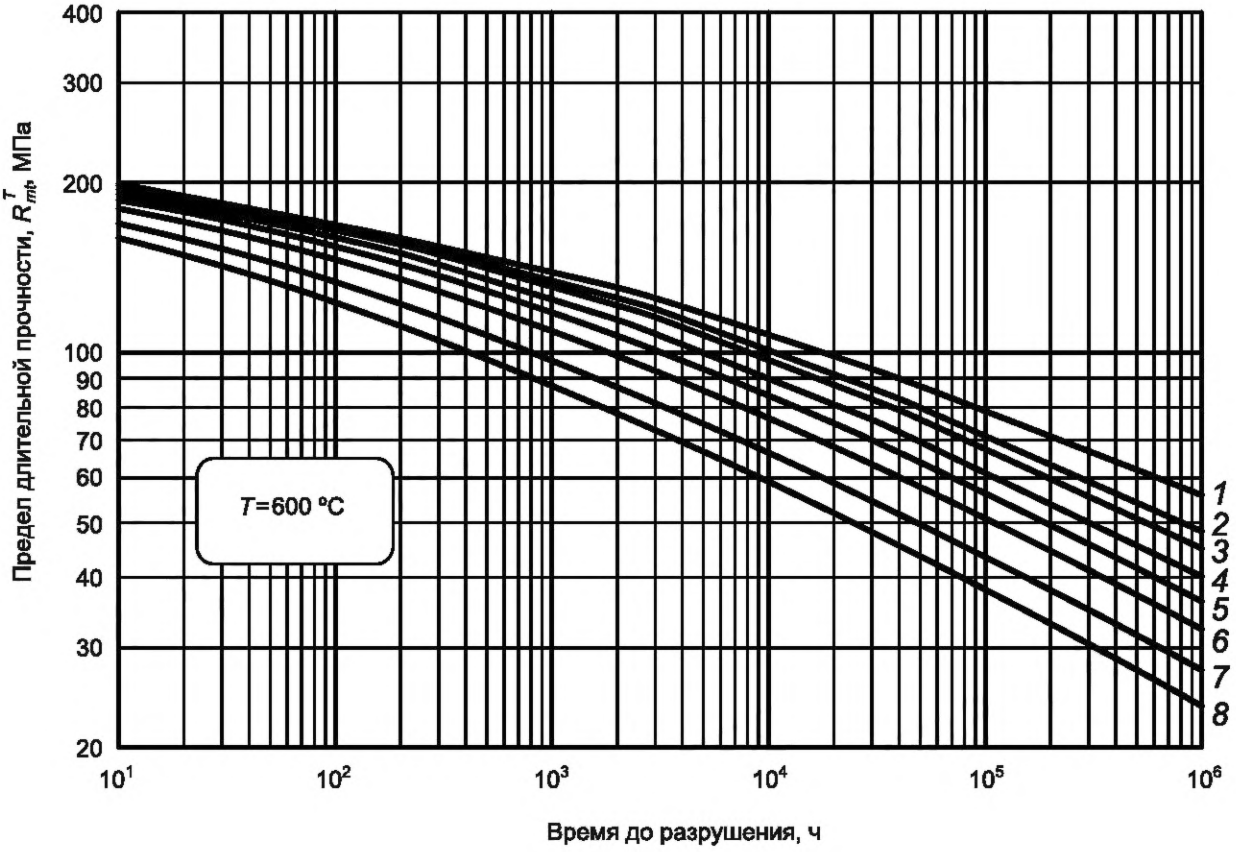


а) При T = 500 °С



б) При T = 550 °С

Рисунок В.2 — Кривые минимальных значений пределов длительной прочности R_c^T стали марки 08Х16Н11М3 при различных температурах T и скоростях повреждающей дозы Ф



в) При T = 600 °С

1 — исходное состояние; *2* — Ф = 1,43 · 10^{-2} сна/год; *3* — Ф = 2,86 · 10^{-2} сна/год; *4* — Ф = 7,15 · 10^{-2} сна/год; *5* — Ф = 1,43 · 10^{-1} сна/год; *6* — Ф = 2,86 · 10^{-1} сна/год; *7* — Ф = 7,15 · 10^{-1} сна/год; *8* — Ф = 1,43 сна/год

Рисунок В.2, лист 2

В.2 Минимальные значения истинных напряжений при разрыве при длительном статическом нагружении

В.2.1 Истинные напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении R_c^T используются при расчете длительного повреждения. Зависимости минимальных значений истинных напряжений R_c^T для различных температур T (°С) описываются следующим уравнением

$$\lg(t) = a_0 + [(T + 273) - T_a] \cdot [b_0 + b_1 \cdot \lg R_c^T + b_2 \cdot (\lg R_c^T)^2], \quad (В.2)$$

где t — время до разрушения, ч;

a_0, b_0, b_1, b_2 — константы, зависящие от марки стали и скоростей набора повреждающей дозы;

T_a — параметр; для сталей, приведенных в таблице А.1 — T_a = 0.

В.2.2 Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для различных скоростей набора повреждающей дозы Ф приведены в таблицах В.3 (стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9) и В.4 (сталь марки 08Х16Н11М3).

В.2.3 Кривые минимальных значений истинных напряжений R_c^T для температур 500 °С, 550 °С и 600 °С и скоростей повреждающих доз Ф от 0 до 1,43 сна/год приведены на рисунках В.3 (сталь марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9) и В.4 (сталь марки 08Х16Н11М3).

Таблица В.3 — Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9

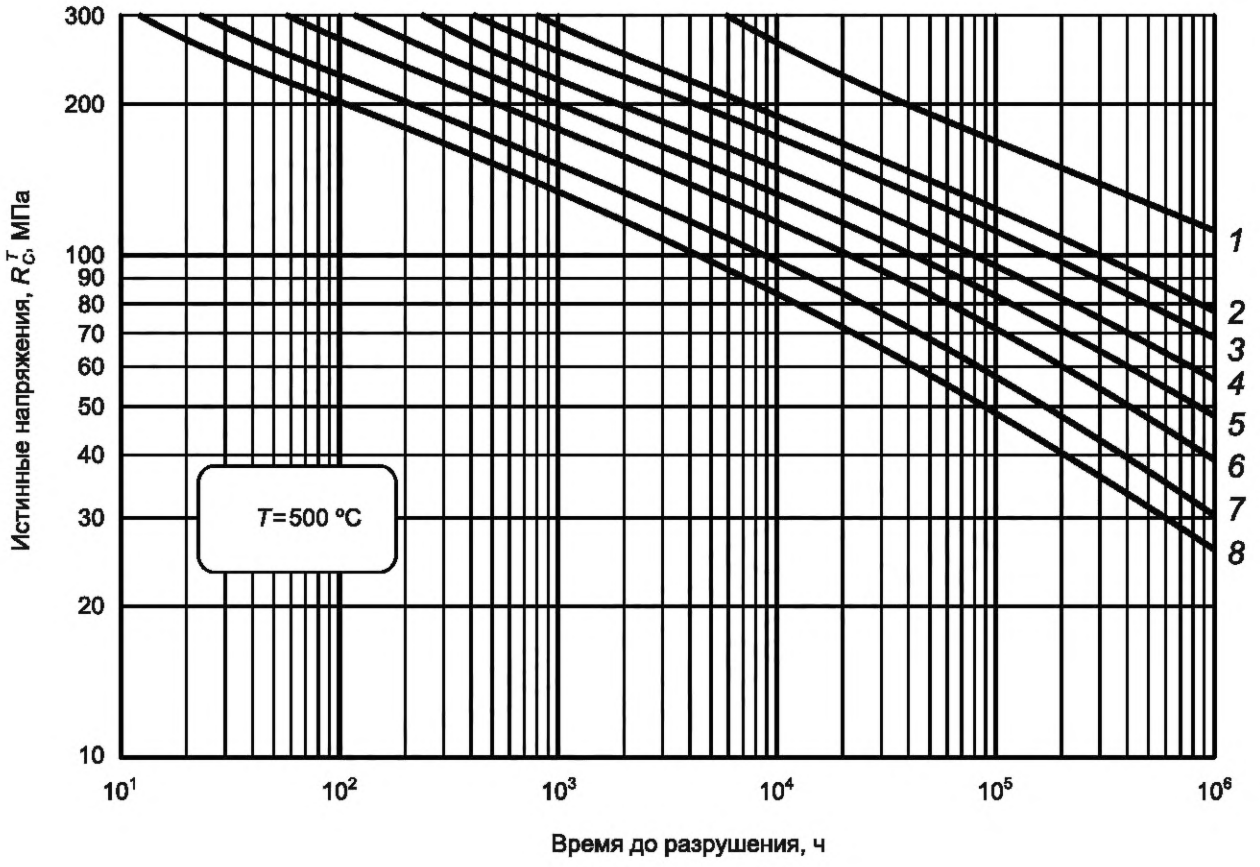
Скорость набора повреждающей дозы Ф, сна/год	a_0	b_0	b_1	b_2
0	20,32	–0,011670	–0,0020170	–0,0007454
1,43 · 10^{-2}	16,78	–0,009173	–0,0007445	–0,0010710

Окончание таблицы В.3

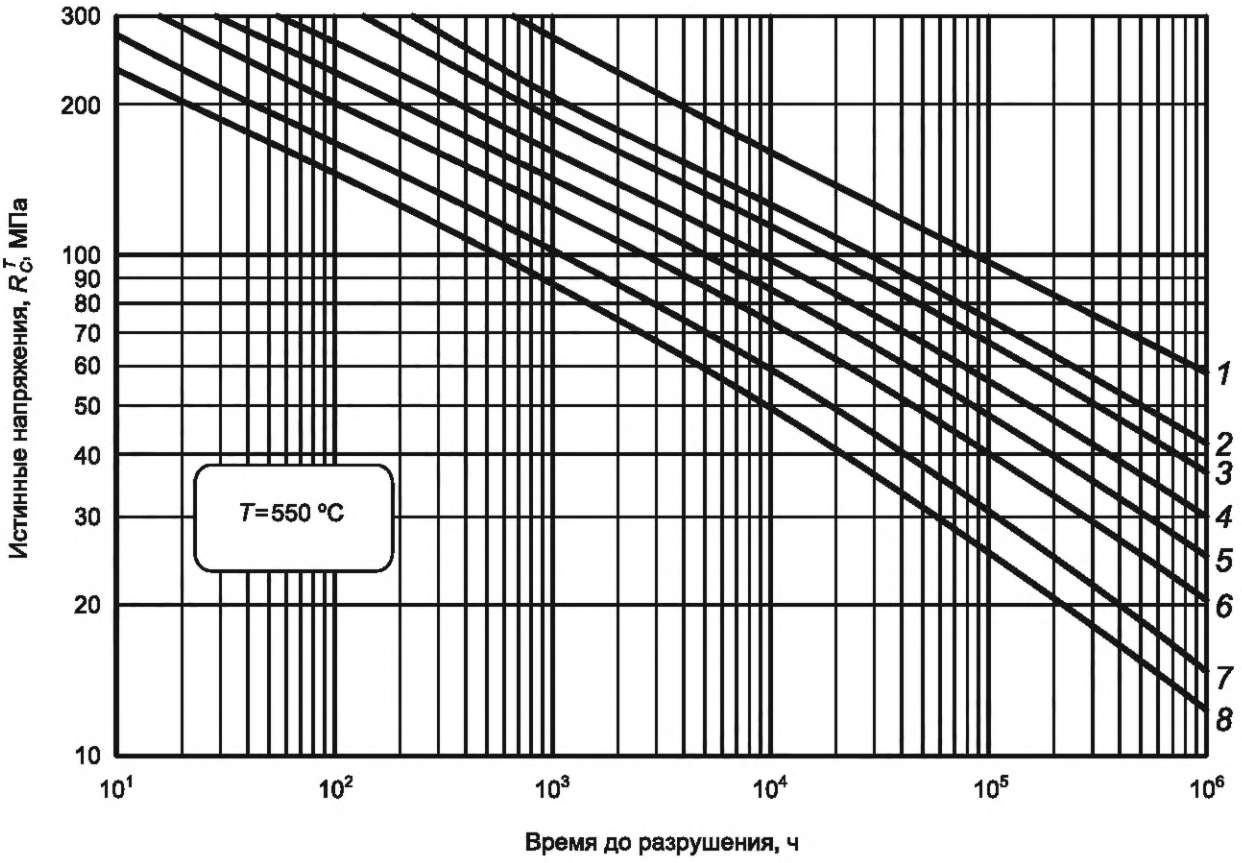
Скорость набора повреждающей дозы Ф, сна/год	a_0	b_0	b_1	b_2
$2{,}86 \cdot 10^{-2}$	16,20	–0,009749	+0,0004725	–0,0014070
$7{,}15 \cdot 10^{-2}$	15,57	–0,008724	$-1{,}2390 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}2636 \cdot 10^{-3}$
$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	15,13	–0,008459	–0,0001055	–0,0012820
$2{,}86 \cdot 10^{-1}$	15,00	–0,008859	+0,0002550	–0,0014040
$7{,}15 \cdot 10^{-1}$	15,05	–0,009675	+0,0007063	–0,0015550
1,43	15,16	–0,009746	+0,0004144	–0,0015190

Таблица В.4 — Значения констант a_0, b_0, b_1, b_2 для стали марки 08Х16Н11М3

Скорость набора повреждающей дозы Ф, сна/год	a_0	b_0	b_1	b_2
0	20,32	–0,010800	–0,0012400	–0,001117
$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	16,07	–0,006676	–0,0010000	–0,001153
$2{,}86 \cdot 10^{-2}$	15,33	–0,006445	–0,0005250	–0,001282
$7{,}15 \cdot 10^{-2}$	14,44	–0,005678	–0,0005280	–0,001293
$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	13,84	–0,004939	–0,0008283	–0,001226
$2{,}86 \cdot 10^{-1}$	13,25	–0,004742	–0,00061580	–0,001284
$7{,}15 \cdot 10^{-1}$	12,65	–0,004583	–0,00056610	–0,001286
1,43	12,38	–0,005172	+0,00008691	–0,001468

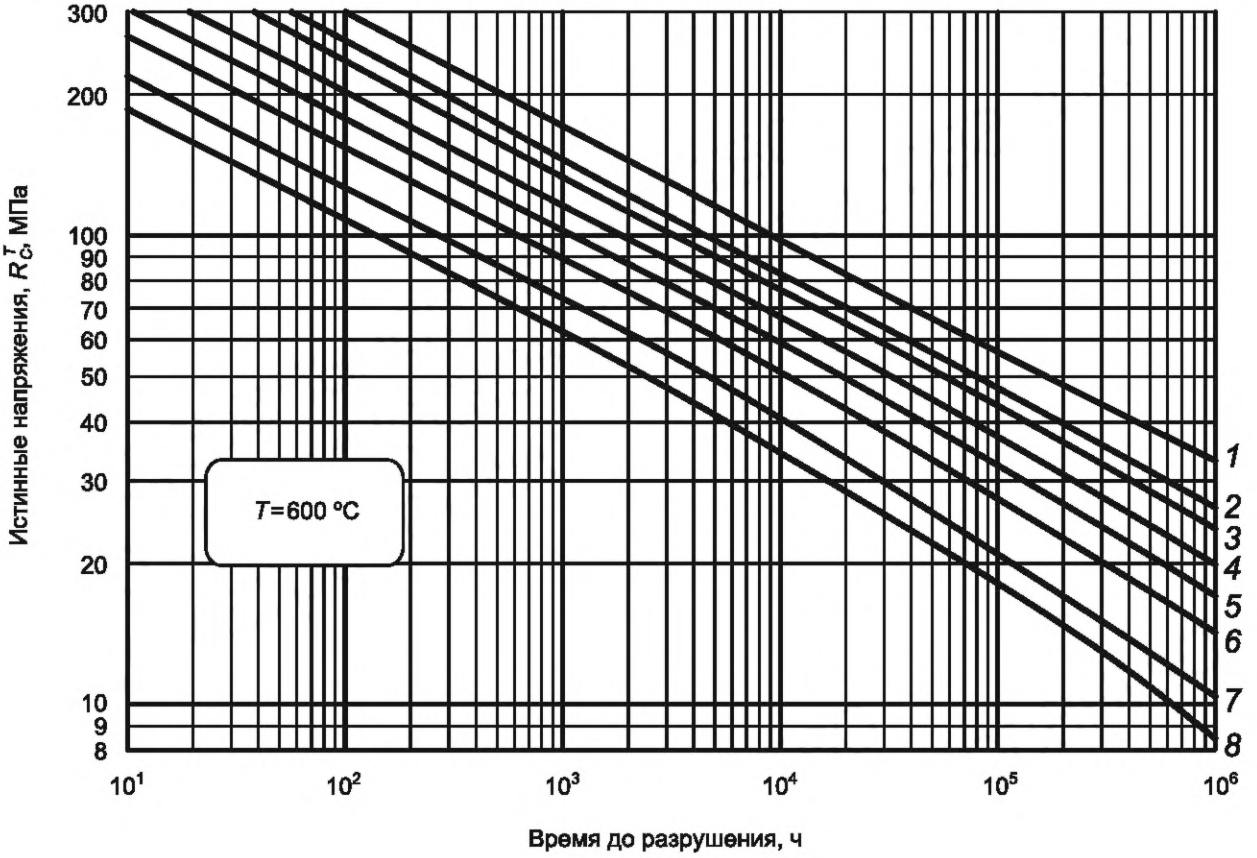


а) При T = 500 °С



б) При T = 550 °С

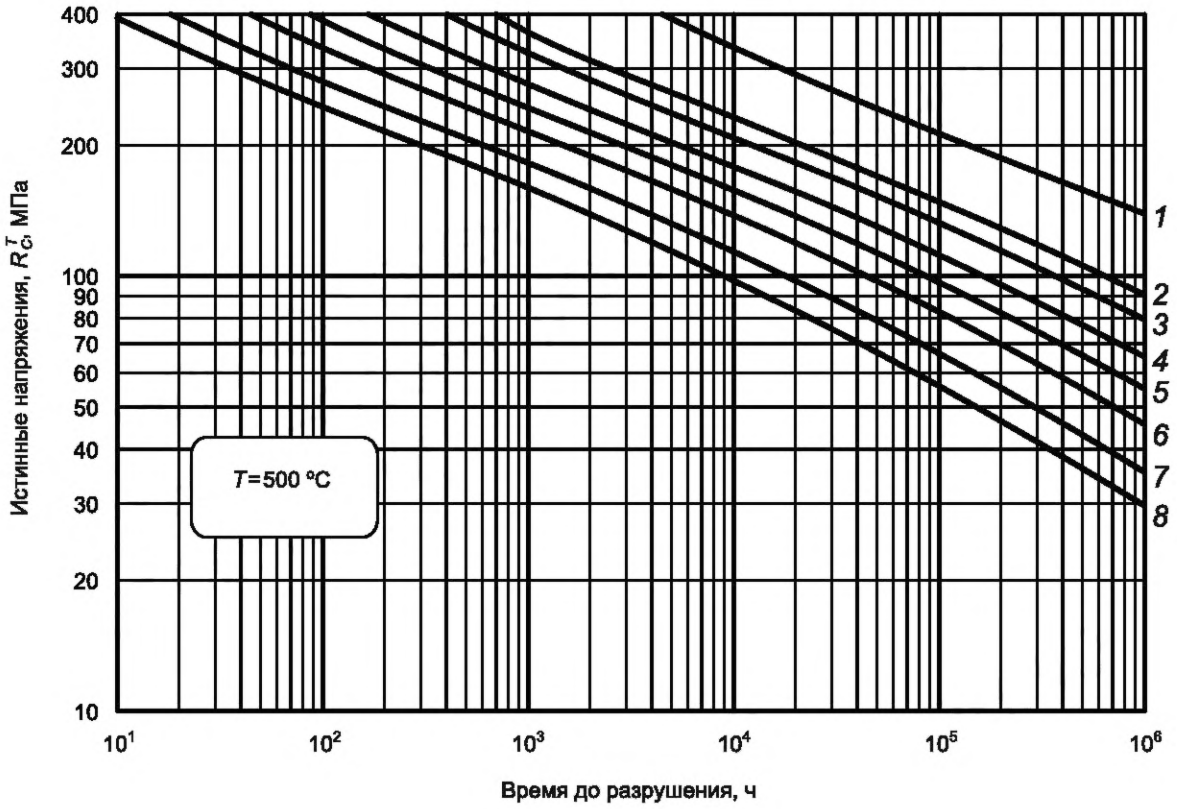
Рисунок В.3 — Кривые минимальных значений истинных напряжений R_c^T сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9 при различных температурах T и скоростях повреждающей дозы Ф



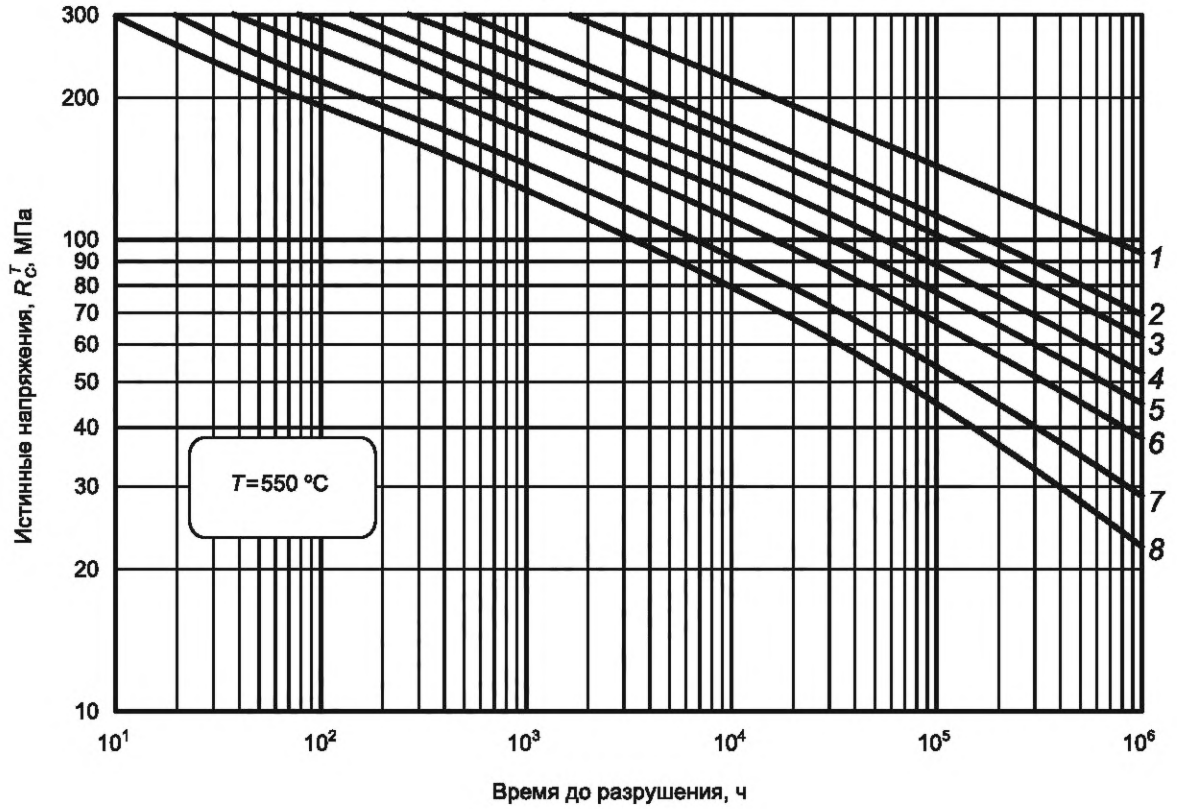
в) При T = 600 °С

1 — исходное состояние; *2* — Ф = 1,43 · 10^{-2} сна/год; *3* — Ф = 2,86 · 10^{-2} сна/год; *4* — Ф = 7,15 · 10^{-2} сна/год; *5* — Ф = 1,43 · 10^{-1} сна/год; *6* — Ф = 2,86 · 10^{-1} сна/год; *7* — Ф = 7,15 · 10^{-1} сна/год; *8* — Ф = 1,43 сна/год

Рисунок В.3, лист 2

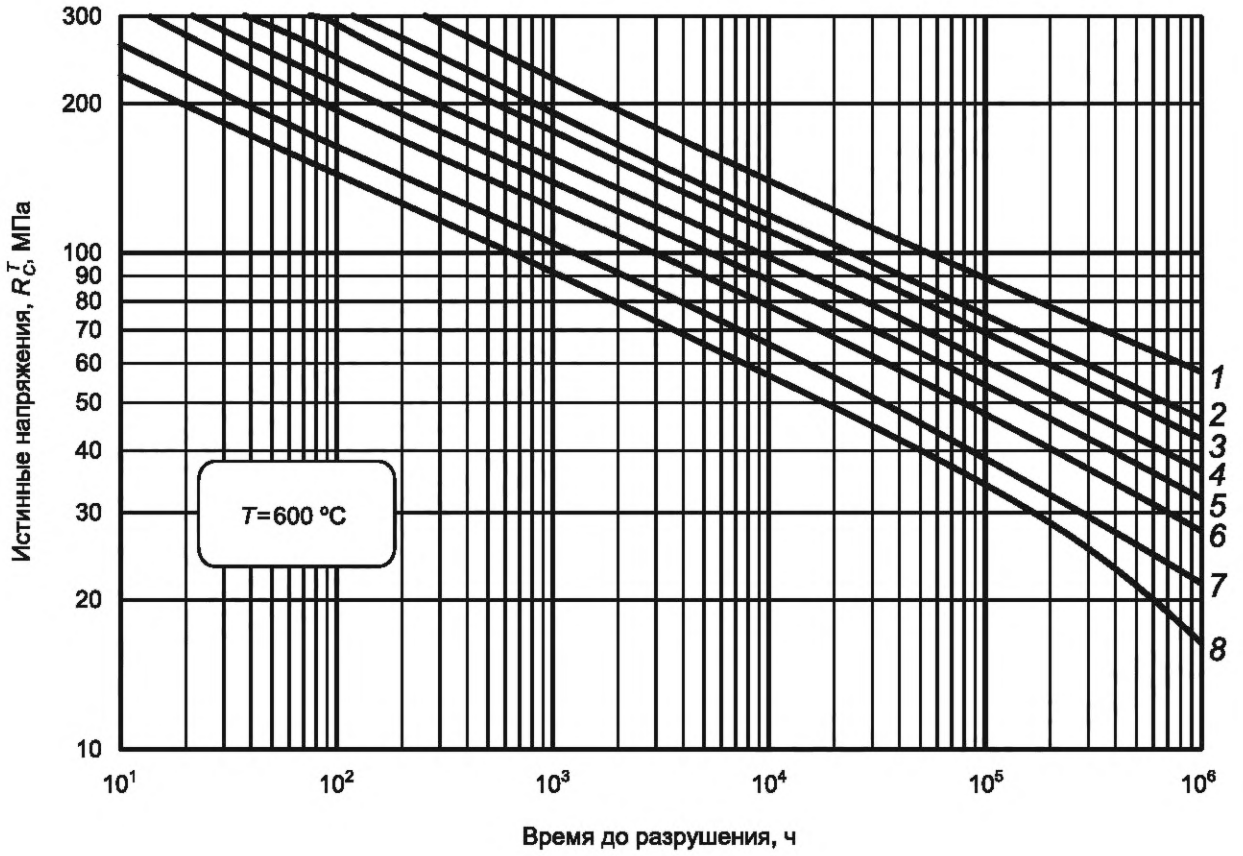


а) При T = 500 °С



б) При T = 550 °С

Рисунок В.4 — Кривые минимальных значений истинных напряжений R_c^T стали марки 08Х16Н11М3 при различных температурах T и скоростях повреждающей дозы Ф



в) При T = 600 °С

1 — исходное состояние; *2* — Ф = 1,43·10^{-2} сна/год; *3* — Ф = 2,86 · 10^{-2} сна/год; *4* — Ф = 7,15 · 10^{-2} сна/год; *5* — Ф = 1,43 · 10^{-1} сна/год; *6* — Ф = 2,86 · 10^{-1} сна/год; *7* — Ф = 7,15 · 10^{-1} сна/год; *8* — Ф = 1,43 сна/год

Рисунок В.4, лист 2

Приложение Г
(справочное)

Определение длительной пластичности и среднего значения истинного напряжения при разрыве при испытаниях на длительную прочность для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х16Н11М3 и 07Х12НМФБ

Г.1 Длительная пластичность ε_{ft}^{T} используется для построения кривых усталости.

Г.2 Зависимость ε_{ft}^{T} при различных уровнях температур облучения $T_{обл}$, скоростей повреждающей дозы Ф и без предварительного облучения повреждающей дозой для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 10Х18Н9, 08Х16Н11М3 рассчитывается по уравнению

$$\varepsilon_{ft}^{T} = C_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{C_2} \cdot \xi^{E_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{E_2}}, \qquad (Г.1)$$

где C_1, C_2, E_1 и E_2 — коэффициенты; приведены в таблице Г.1;

Φ — скорость набора повреждающей дозы, сна/год; $0{,}0143 \le \Phi \le 1{,}43$;

$\Phi_0 = 1$ сна/год;

ξ — скорость деформации, 1/ч; $10^{-5} \le \xi \le 1$ 1/ч.

Если $\Phi < 0{,}0143$ сна/год, то принимается $\Phi = 0{,}0143$ сна/год.

Таблица Г.1 — Значения коэффициентов уравнения (Г.1)

T, °С	C_1, ч	C_2	E_1	E_2
Сталь марки 08Х16Н11М3				
500	1,46	$-2{,}16 \cdot 10^{-1}$	$2{,}31 \cdot 10^{-1}$	$8{,}09 \cdot 10^{-3}$
550	1,22	$-2{,}29 \cdot 10^{-1}$	$2{,}32 \cdot 10^{-1}$	$1{,}92 \cdot 10^{-3}$
600	1,09	$-2{,}07 \cdot 10^{-1}$	$2{,}10 \cdot 10^{-1}$	$1{,}42 \cdot 10^{-3}$
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9				
500	1,51	$-2{,}97 \cdot 10^{-1}$	$3{,}02 \cdot 10^{-1}$	$2{,}80 \cdot 10^{-3}$
550	1,31	$-2{,}40 \cdot 10^{-1}$	$3{,}06 \cdot 10^{-1}$	$2{,}17 \cdot 10^{-2}$
600	1,03	$-2{,}74 \cdot 10^{-1}$	$2{,}71 \cdot 10^{-1}$	$8{,}75 \cdot 10^{-3}$

Г.3 При различных предварительных повреждающих дозах D и заданной скорости набора повреждающей дозы Ф зависимость ε_{ft}^{T} рассчитывается по уравнению

$$\varepsilon_{ft}^{T} = K_1 \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^{K_2} \cdot \xi^{M_1 \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^{M_2}}, \qquad (Г.2)$$

где K_1, K_2, M_1 и M_2 — коэффициенты; приведены в таблице Г.2;

D — повреждающая доза, сна;

$D_0 = 1$ сна;

$10^{-5} \le \xi \le 1$ 1/ч.

Таблица Г.2 — Значения коэффициентов уравнения (Г.2)

T, °С	Ф, сна/год	K_1, ч	K_2	M_1	M_2	Диапазон изменения D, сна
Сталь марки 08Х16Н11М3						
500	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	2,10	$-9{,}01 \cdot 10^{-2}$	$2{,}29 \cdot 10^{-1}$	$+2{,}17 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	1,11	$-2{,}23 \cdot 10^{-1}$	$2{,}09 \cdot 10^{-1}$	$+1{,}82 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,55	$-1{,}93 \cdot 10^{-1}$	$2{,}05 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}95 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$

Окончание таблицы Г.2

T, °С	Ф, сна/год	K_1, ч	K_2	M_1	M_2	Диапазон изменения D, сна
550	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	2,10	$-1{,}07 \cdot 10^{-1}$	$2{,}38 \cdot 10^{-1}$	$+1{,}26 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	1,15	$-2{,}80 \cdot 10^{-1}$	$2{,}30 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}03 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,45	$-2{,}18 \cdot 10^{-1}$	$2{,}02 \cdot 10^{-1}$	$-6{,}55 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$
600	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1,61	$-9{,}44 \cdot 10^{-2}$	$2{,}01 \cdot 10^{-1}$	$+9{,}64 \cdot 10^{-3}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	0,93	$-2{,}38 \cdot 10^{-1}$	$1{,}93 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}92 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,44	$-1{,}54 \cdot 10^{-1}$	$1{,}86 \cdot 10^{-1}$	$-6{,}02 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9						
500	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	3,17	$-2{,}92 \cdot 10^{-2}$	$3{,}05 \cdot 10^{-1}$	$+3{,}67 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	1,31	$-2{,}51 \cdot 10^{-1}$	$2{,}88 \cdot 10^{-1}$	$+5{,}60 \cdot 10^{-3}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,445	$-2{,}62 \cdot 10^{-1}$	$2{,}50 \cdot 10^{-1}$	$-5{,}37 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$
550	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	2,18	$-2{,}49 \cdot 10^{-1}$	$2{,}78 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}18 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	0,931	$-2{,}45 \cdot 10^{-1}$	$2{,}56 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}12 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,256	$-7{,}89 \cdot 10^{-2}$	$1{,}93 \cdot 10^{-1}$	$+3{,}28 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$
600	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1,97	$-9{,}09 \cdot 10^{-2}$	$2{,}69 \cdot 10^{-1}$	$+7{,}52 \cdot 10^{-3}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	0,851	$-2{,}17 \cdot 10^{-1}$	$2{,}43 \cdot 10^{-1}$	$-7{,}84 \cdot 10^{-3}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	0,238	$-5{,}43 \cdot 10^{-2}$	$1{,}80 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}54 \cdot 10^{-2}$	$6{,}8 \le D \le 68$

Г.4 Зависимость ε_{ft}^{T} при различных уровнях температур T, скоростей повреждающей дозы Ф для сталей 09Х18Н9, 10Х18Н9, 10Х18Н9, 08Х16Н11М3 при различных временах до разрушения t_f рассчитывают по формуле

$$\varepsilon_{ft}^{T} = \min\left\{ U_3 \cdot \left(\frac{t_f}{t_0}\right)^{U_4};\ \max\left\{ \varepsilon_{ft}^{0};\ U_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{U_2} \cdot \left(\frac{t_f}{t_0}\right)^{Q_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{Q_2}} \right\} \right\}, \quad (Г.3)$$

где U_1, U_2, U_3, U_4, Q_1 и Q_2 — коэффициенты; значения U_1, U_2 и Q_1 приведены в таблице Г.3;

$Q_2 = 0{,}01$;

$\varepsilon_{ft}^{0} = 0{,}08$; $U_3 = 0{,}778$; $U_4 = -0{,}142$ — для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9;

$\varepsilon_{ft}^{0} = 0{,}027$; $U_3 = 0{,}453$; $U_4 = -0{,}0147$ — для стали марки 08Х16Н11М3;

Φ_0 и t_0 — нормирующие коэффициенты: $\Phi_0 = 1$ сна/год; $t_0 = 1$ ч;

$10 \le t \le 5 \cdot 10^5$ ч;

$0{,}0143 \le \Phi \le 1{,}43$ сна/год.

Если $\Phi < 0{,}0143$ сна/год, то принимается $\Phi = 0{,}0143$ сна/год.

Таблица Г.3 — Значения коэффициентов уравнения (Г.3)

T, °С	U_1	U_2	Q_1
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9			
500	1,53	$-3{,}72 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}07 \cdot 10^{-1}$
550	1,22	$-3{,}59 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}05 \cdot 10^{-1}$
600	0,877	$-3{,}15 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}61 \cdot 10^{-1}$
Сталь марки 08Х16Н11М3			
500	2,53	$-3{,}25 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}61 \cdot 10^{-1}$
550	1,35	$-2{,}76 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}08 \cdot 10^{-1}$
600	1,14	$-2{,}43 \cdot 10^{-1}$	$-2{,}68 \cdot 10^{-1}$

Г.5 Среднее значение истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении $\overline{R}_c^T$, МПа, при различных уровнях $T_{обл}$, Ф и D = 0 для сталей 09Х18Н9, 10Х18Н9, 10Х18Н9, 08Х16Н11М3 определяется по уравнению

$$\overline{R}_c^T = A_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{A_2} \cdot \xi^{B_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{B_2}}, \qquad (Г.4)$$

где A_1, A_2, B_1 и B_2 — коэффициенты; приведены в таблице Г.4;

$0{,}0143 \le \Phi \le 1{,}43$ сна/год;

Φ_0 = 1 сна/год;

$10^{-5} \le \xi \le 1$ 1/ч.

Если Ф < 0,0143 сна/год, то принимается Ф = 0,0143 сна/год.

Таблица Г.4 — Значения коэффициентов уравнения (Г.4)

T, °С	A_1, МПа · ч	A_2	B_1	B_2
Сталь марки 08Х16Н11М3				
500	975	$-1{,}95 \cdot 10^{-1}$	$1{,}63 \cdot 10^{-1}$	$-2{,}53 \cdot 10^{-2}$
550	734	$-1{,}87 \cdot 10^{-1}$	$1{,}53 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}33 \cdot 10^{-2}$
600	581	$-2{,}10 \cdot 10^{-1}$	$1{,}65 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}66 \cdot 10^{-2}$
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9				
500	733	$-1{,}53 \cdot 10^{-1}$	$1{,}42 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}69 \cdot 10^{-2}$
550	615	$-1{,}88 \cdot 10^{-1}$	$1{,}64 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}10 \cdot 10^{-2}$
600	494	$-2{,}20 \cdot 10^{-1}$	$1{,}75 \cdot 10^{-1}$	$-5{,}02 \cdot 10^{-2}$

Г.6 При различных предварительных повреждающих дозах D и заданной скорости повреждающей дозы Ф среднее значение $\overline{R}_c^T$, МПа, определяют по формуле

$$\overline{R}_c^T = G_1 \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^{G_2} \cdot \xi^{H_1 \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^{H_2}}, \qquad (Г.5)$$

где G_1, G_2, H_1 и H_2 — коэффициенты; приведены в таблице Г.5;

D — повреждающая доза, сна;

D_0 = 1 сна;

$10^{-5} \le \xi \le 1$ 1/ч.

Таблица Г.5 — Значения коэффициентов уравнения (Г.5)

T, °С	Ф, сна/год	G_1, МПа · ч	G_2	H_1	H_2	Диапазон изменения D, сна
Сталь марки 08Х16Н11М3						
500	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1647	$-5{,}80 \cdot 10^{-2}$	$1{,}65 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}42 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	1139	$-9{,}55 \cdot 10^{-2}$	$1{,}60 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}37 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	710	$-5{,}14 \cdot 10^{-2}$	$1{,}41 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}34 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$
550	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1110	$-5{,}01 \cdot 10^{-2}$	$1{,}50 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}69 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	919	$-5{,}40 \cdot 10^{-2}$	$1{,}58 \cdot 10^{-1}$	$-5{,}69 \cdot 10^{-3}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	581	$-2{,}79 \cdot 10^{-2}$	$1{,}38 \cdot 10^{-1}$	$+2{,}99 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$
600	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	918	$-9{,}36 \cdot 10^{-2}$	$1{,}68 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}78 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	686	$-9{,}12 \cdot 10^{-2}$	$1{,}61 \cdot 10^{-1}$	$-4{,}45 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	440	$-2{,}31 \cdot 10^{-2}$	$1{,}48 \cdot 10^{-1}$	$-5{,}65 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$

Окончание таблицы Г.5

T, °С	Ф, сна/год	G_1, МПа · ч	G_2	H_1	H_2	Диапазон изменения D, сна
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9						
500	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1413	$2{,}40 \cdot 10^{-3}$	$1{,}62 \cdot 10^{-1}$	$+1{,}36 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	873	$-7{,}34 \cdot 10^{-2}$	$1{,}41 \cdot 10^{-1}$	$-3{,}62 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	612	$-3{,}07 \cdot 10^{-2}$	$1{,}31 \cdot 10^{-1}$	$+8{,}29 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$
550	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	1008	$-3{,}04 \cdot 10^{-2}$	$1{,}65 \cdot 10^{-1}$	$-7{,}51 \cdot 10^{-3}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	757	$-3{,}79 \cdot 10^{-2}$	$1{,}62 \cdot 10^{-1}$	$-6{,}33 \cdot 10^{-3}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	545	$-2{,}22 \cdot 10^{-2}$	$1{,}65 \cdot 10^{-1}$	$+4{,}45 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$
600	$1{,}43 \cdot 10^{-2}$	904	$-4{,}46 \cdot 10^{-2}$	$1{,}92 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}41 \cdot 10^{-2}$	$0{,}068 \le D \le 0{,}68$
	$1{,}43 \cdot 10^{-1}$	657	$-4{,}97 \cdot 10^{-2}$	$1{,}81 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}83 \cdot 10^{-2}$	$0{,}68 \le D \le 6{,}8$
	1,43	434	$-1{,}52 \cdot 10^{-2}$	$1{,}74 \cdot 10^{-1}$	$-1{,}32 \cdot 10^{-3}$	$6{,}8 \le D \le 68$

Г.7 Среднее значение истинного напряжения при разрыве при длительном статическом нагружении $\overline{R_c^T}$ при различных уровнях температур T и скоростей повреждающей дозы Ф для сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 10Х18Н9, 08Х16Н11М3 при различных временах до разрушения t_f рассчитывается по формуле

$$\overline{R_c^T} = \min \begin{cases} W_1 \cdot \left(\dfrac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{W_2} \cdot \left(\dfrac{t_f}{t_0}\right)^{V_1 \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right)^{V_2}} \\ W_3 \cdot \left(\dfrac{t_f}{t_0}\right)^{W_4} \end{cases}, \qquad (Г.6)$$

где W_1, W_2, W_3, W_4, V_1, V_2 — коэффициенты.

Значения W_1, W_2, V_1 приведены в таблице Г.6;

$V_2 = 0{,}01$;

Φ_0 и t_0 — нормирующие коэффициенты: $\Phi_0 = 1$ сна/год, $t_0 = 1$ ч;

$10 \le t \le 5 \cdot 10^5$ ч;

$0{,}0143 \le \Phi \le 1{,}43$ сна/год.

Если $\Phi < 0{,}0143$ сна/год, то принимается $\Phi = 0{,}0143$ сна/год.

Таблица Г.6 — Значения коэффициентов по формуле (Г.6)

T, °С	W_1, МПа	W_2	W_3, МПа	W_4	V_1
Стали марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9					
500	787	$-1{,}67 \cdot 10^{-1}$	834	–0,115	$-2{,}01 \cdot 10^{-1}$
550	776	$-1{,}49 \cdot 10^{-1}$	455	–0,105	$-2{,}28 \cdot 10^{-1}$
600	672	$-1{,}47 \cdot 10^{-1}$	404	–0,133	$-2{,}52 \cdot 10^{-1}$
Сталь марки 08Х16Н11М3					
500	1207	$-1{,}79 \cdot 10^{-1}$	753	–0,0709	$-2{,}27 \cdot 10^{-1}$
550	888	$-1{,}67 \cdot 10^{-1}$	618	–0,0776	$-2{,}20 \cdot 10^{-1}$
600	694	$-1{,}45 \cdot 10^{-1}$	540	–0,109	$-2{,}24 \cdot 10^{-1}$

Г.8 Длительную пластичность ε_{ft}^T для стали марки 07Х12НМФБ рассчитывают с помощью следующего уравнения:

$$\varepsilon_{ft}^T = 16{,}6 \cdot \xi^{0{,}322}, \qquad (Г.7)$$

где ξ — скорость деформации, 1/ч.

Приложение Д
(справочное)

Определение значений коэффициента снижения прочности от обезуглероживания и науглероживания

Д.1 При выполнении расчета по выбору основных размеров и проведении поверочного расчета для сталей перлитного класса коэффициент снижения прочности определяют по формуле

$$\eta_t = 1 - 0{,}15 \cdot h_c / S_R, \qquad (Д.1)$$

где h_c — толщина поверхностного слоя стали, обезуглероженного на 30 %;

S_R — расчетная толщина стенки.

Д.2 Значение h_c определяют по данным технических условий на изделие. Для сталей марок 12Х2М, 12Х2М1ФБ допускается определять h_c в порядке, указанном ниже.

Способ сводится к вычислению x по приведенным на рисунках Д.1—Д.2 формулам и определению по x значения h_c, пользуясь графиком.

Д.3 При расчете по выбору основных размеров и поверочном расчете элементов (компонентов) с толщиной стенки более 1 мм и времени эксплуатации не более $5 \cdot 10^5$ ч принимают для элементов (компонентов) с толщиной стенки:

- менее 5 мм из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса с содержанием никеля до 15 % при $T \le 550$ °С $\eta_t = 1$ и при 550 °С $< T \le 600$ °С $\eta_t = 0{,}9$; из железоникелевых сплавов при $T \le 600$ °С, $\eta_t = 0{,}9$;
- 5 мм и более из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса с содержанием никеля до 15 % и железоникелевых сплавов при $T \le 600$ °С, $\eta_t = 1$.

Д.4 Расчет на длительную статическую прочность по ГОСТ Р 59115.10 проводят для омываемых натрием элементов (компонентов) контура из аустенитных сталей, если в том же контуре находятся элементы (компоненты) из углеродистых или легированных сталей, если глубина зоны науглероживания h_{cc} для заданного времени и температуры не превышает расчетной толщины стенки элемента (компонента). Для контура с натрием реакторной чистоты значение h_{cc} определяют по рисункам Д.3 и Д.4 с помощью параметра x.

Если глубина зоны науглероживания h_{cc} для заданного времени и температуры превышает расчетную толщину стенки элемента (компонента), необходимо проведение представительных экспериментальных исследований для определения величины снижения значений характеристик длительных механических свойств.

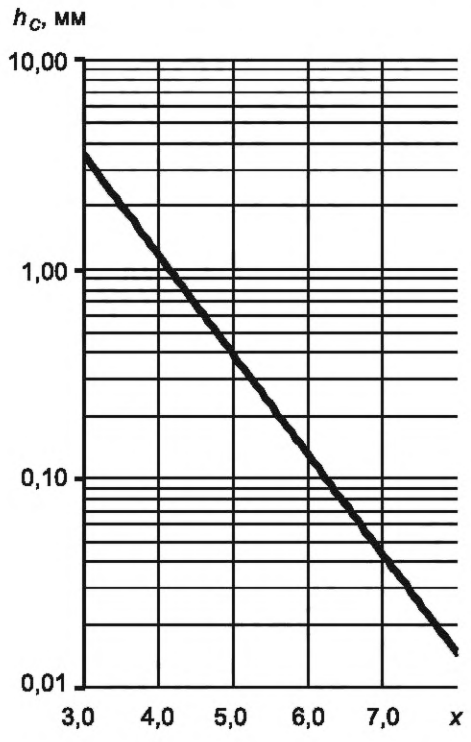


Рисунок Д.1 — Диаграмма обезуглероживания стали марки 12Х2М в жидком натрии, $x = \frac{7000}{T} - \lg t$ (T, К)

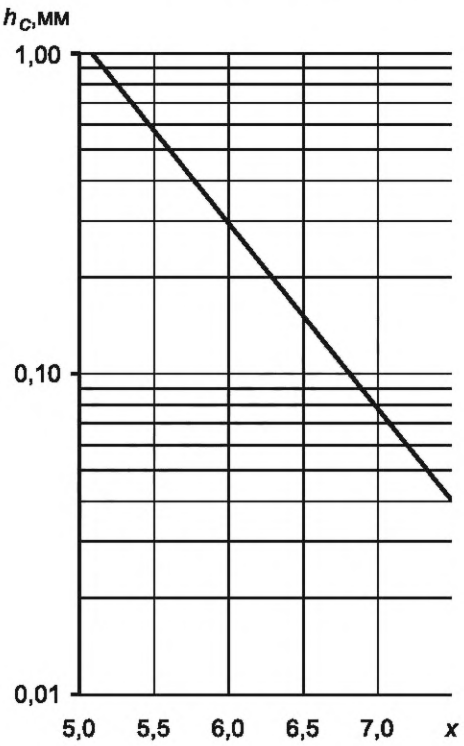


Рисунок Д.2 — Диаграмма обезуглероживания стали марки 12Х2М1ФБ в жидком натрии, $x = \frac{8650}{T} - \lg t$ (T, К)

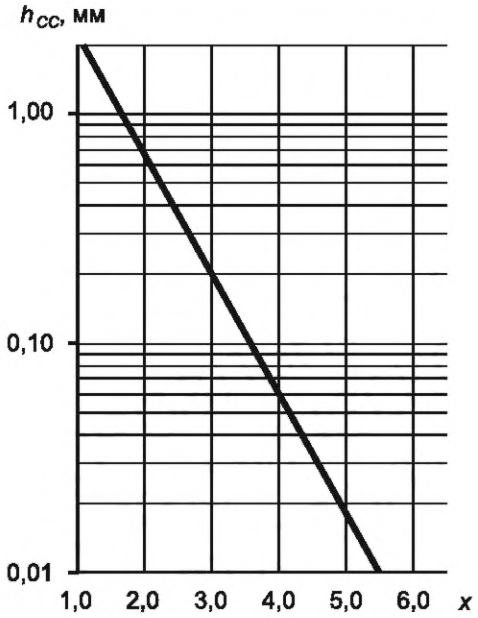


Рисунок Д.3 — Диаграмма науглероживания сталей марок 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х16Н11М3, 12Х18Н10Т в жидком натрии, $x = \frac{6050}{T} - \lg t$ (T, К)

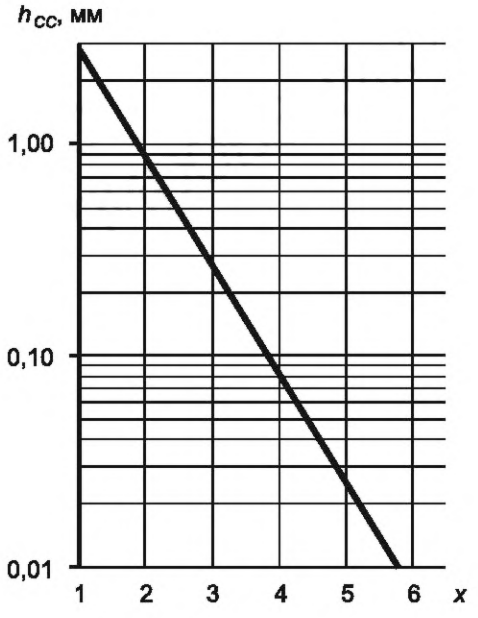


Рисунок Д.4 — Диаграмма науглероживания стали марки 12Х16Н15М3Б в жидком натрии, $x = \frac{6050}{T} - \lg t$ (T, К)

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-089-15 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

[2] Метрологические требования к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии

УДК 621.039:531:006.354 ОКС 27.120.99

Ключевые слова: оборудование, трубопроводы, конструкционные материалы, предел длительной прочности, условный предел ползучести, изохронные кривые деформирования, кривые усталости

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 20.10.2021. Подписано в печать 01.12.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,84. Уч.-изд. л. 8,00.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru