

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

На правах рукописи



Саврасов Иван Александрович

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
СТАЛИ 45 И СПЛАВА В95**

1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., доцент Гульяев В.И.

Тверь 2025

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Исторический обзор теории	8
1.1. Развитие теории пластичности до XX в.....	8
1.2. Теория процессов упругопластического деформирования и развитие механики в XX в.....	13
Глава 2. Теоретические исследования	19
2.1. Напряженно-деформированное состояние упругопластических тел и тензоры напряжений и деформаций.....	19
2.2. Теория малых упругопластических процессов деформации при простом нагружении и постулатах изотропии А.А. Ильюшина.....	22
Глава 3. Автоматизированный экспериментальный комплекс СН-ЭВМ, образцы, средства измерения	31
3.1. Общая часть.....	31
3.2. Экспериментальный испытательный комплекс СН-ЭВМ.....	33
3.3. Механическая установка комплекса СН-ЭВМ.....	34
3.4. Датчики деформаций и усилий, захватные приспособления.....	35
3.5. Используемые для эксперимента образцы.....	37
3.6. Методика установки образца на экспериментальный комплекс СН-ЭВМ	41
3.7. Химический состав исследуемых образцов.....	42
3.8. Стали и сплавы в машиностроении.....	45
3.9. Химический состав сталей.....	45
3.10. Деформирование поликристаллов.....	46
3.11. Методика металлографических исследований.....	46
3.12. Методы изучения металлов, микроструктурный анализ сталей.....	48
Глава 4. Экспериментальные исследования сложного нагружения стали 45 и сплава В95 за пределом упругости	55
4.1. Общие сведения.....	55
4.2. Диаграммы деформирования материала сталь 45.....	57
4.3. Экспериментальная проверка постулата изотропии при деформировании стали 45 по ортогональным криволинейным траекториям постоянной кривизны.....	59
4.4. Проверка постулата изотропии А.А. Ильюшина при сложном нагружении стали 45 по траекториям деформирования в виде полуокружностей.....	64
4.5. Экспериментальное исследование изотропного материала сталь 45 по гладкой криволинейной траектории деформирования.....	71
4.6. Экспериментальная проверка постулата изотропии при деформировании разносопротивляющегося сплава В95 по двузвенным ломаным траекториям.....	78
4.7. Экспериментальное исследование постулата изотропии на плоских «треугольных траекториях».....	85
Результаты и выводы	91
Библиографический список	92
Приложения	111

ВВЕДЕНИЕ

Прочность, устойчивость и долговечность конструкций являются основой изучения в механике деформируемого твердого тела. В современном строительстве, машиностроении с увеличением нагрузки ответственных несущих конструкций, двигателей летательных аппаратов, оболочек ракет могут возникать упругопластичные деформации. Дальнейший их учет является важным этапом для безопасной и безотказной работы конструкций и их долговечности.

В XX в. произошли крупные достижения в области механики деформируемого твердого тела и, как следствие, в экспериментальной механике. Были разработаны высокопрочные композиционные материалы, созданы автоматизированные испытательные комплексы. Механика и мезомеханика позволяют изучить структуру металлов и сплавов, физико-механические свойства которых дают возможность применять их в определенных конструкциях, машинах и т. д.

Развитие машиностроения, строительства и других отраслей народного хозяйства связано с использованием новых конструкторско-технологических решений. Современные технологии учитывают работу конструкций в сложных условиях, связанных с возникновением упругопластического деформирования конструкционных материалов при сложном нагружении и деформировании, и ставят их в ряд наиболее важных. Поэтому эта проблема в современной механике деформируемого твердого тела является существенной и актуальной в теории пластичности и экспериментальной механике.

Актуальность темы. Работа различных элементов механизмов может происходить при локальных пластических деформациях. Учет влияния этих деформаций на перемещение рабочих органов механизмов имеет большое значение. В связи с этим актуальность работы состоит в исследовании закономерностей упругопластического деформирования сталей и сплавов, применяемых в исполнительных механизмах.

К настоящему времени выполнено недостаточно экспериментальных исследований разнонаправленных деформаций. Одним из значимых положений

теории упругопластических процессов является постулат изотропии А.А. Ильюшина и проверка достоверности постулата для сталей и сплавов.

Степень разработанности темы. Практика экспериментальных исследований тонкостенных цилиндрических оболочек показывает, что изотропные материалы и разнсопротивляющиеся сплавы были мало изучены, особенно при сложном нагружении на многозвенных, криволинейных траекториях и др. Это убеждает, что полученные экспериментальные исследования численно согласуются с экспериментами других исследователей, таких как В.Г. Зубчанинов, В.И. Гульяев, И. Охаши, М. Токуда, И. Курита, Т. Сузуки, А.А. Лебедев. В отсутствие результатов экспериментальных исследований при сложном нагружении и деформировании было бы невозможно представить теорию процессов.

Целью данной работы является повышение достоверности прочностных расчётов на основе экспериментов при сложном и разнонаправленном упругопластическом деформировании конструкционных металлов, существующего теоретического подхода к решению задач сложного деформирования на основе постулата изотропии А.А. Ильюшина.

Достижение поставленной цели возможно за счёт решения **основных задач**, таких как:

1. Методика выполнения базовых экспериментальных исследовательских программ на испытательном комплексе СН-ЭВМ.
2. Экспериментальное исследование закономерностей упругопластического деформирования тонкостенных цилиндрических оболочек на примере изотропных (ст45) и разнсопротивляющихся (В95) материалов при сложном нагружении на экспериментальном комплексе СН-ЭВМ.
3. Представление результатов обработки экспериментальных данных, скалярных и векторных свойств материалов в цифровом и графическом виде.
4. Проверка постулата изотропии на сложных криволинейных траекториях постоянной кривизны, получаемых при ортогональных преобразованиях вращения

исходной траектории, на примере изотропных (ст45) и разнсопротивляющихся (B95) материалов.

Научная новизна заключается в разработке экспериментальной методики исследования упругопластического деформирования конструкционных и разнсопротивляющихся материалов при сложном нагружении. Эта методика позволяет определить, какую теорию необходимо использовать для получения лучшей достоверности.

В отличие от простого нагружения, т.е. пропорционального изменения всех компонент внешних воздействий на испытываемый образец (перемещений, усилий), сложное нагружение характеризуется непропорциональным изменением компонент внешних воздействий.

Методика, примененная в диссертации, заключается в экспериментальном исследовании напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов на тонкостенных трубчатых образцах при непропорциональном изменении продольных деформаций и углов закручивания. Результаты представлены в общепринятом для таких исследований векторном изображающем пространстве А.А. Ильюшина.

Программы деформирования образцов в экспериментах включают:

- получение экспериментальной диаграммы единой кривой деформирования при пропорциональном (простом) нагружении (растяжение, сжатие, кручение);
- получение экспериментальных зависимостей между напряжениями и деформациями при непропорциональном (сложном) деформировании по программам из нескольких прямолинейных участков (двух- и многозвенные ломаные);
- реализацию программ сложного деформирования в виде дуг окружностей.

Результаты выполненных экспериментов подтвердили общие положения теории упругопластических процессов и могут использоваться для проверки количественных результатов, получаемых по различным вариантам теории пластичности конструкционных материалов.

Практическое значение. Практическое значение данной диссертационной работы состоит в использовании её результатов в учебном процессе, внедрении их на производстве (в ООО «ПромКонтроль» и др.). Экспериментальные данные, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, интегрированы в учебный процесс, а именно в такие дисциплины, как строительная механика сооружений, теория упругости и пластичности, которые изучаются при подготовке аспирантов по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Теоретическое значение. Результаты экспериментальных исследований могут быть использованы при верификации математических моделей различных конструкций.

Объект исследования – цилиндрические тонкостенные оболочки из изотропного материала и разнсопротивляющегося сплава, подверженные воздействию осевых переменных нагрузок и крутящего момента, а также совокупность свойств связи между напряжениями и деформациями в расчётах на прочность в конструкциях из данных материалов.

Предмет исследования – оценка напряжённо-деформируемого состояния изотропного материала и разнсопротивляющегося сплава с помощью данных о векторных и скалярных свойствах и воздействия на оболочку знакопеременных нагрузок и крутящего момента.

Методология и методы исследования. Экспериментальные исследования выполнялись по двузвенным ломаным и гладким траекториям постоянной кривизны на высокоточном экспериментально-расчётном комплексе СН-ЭВМ имени А.А. Ильюшина на кафедре сопротивления материалов, теории упругости и пластичности ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет». Точность измерения испытываемых образцов соответствует ГОСТам, методики испытаний тонкостенных оболочек полностью удовлетворяют российским стандартам. Обработка результатов экспериментов велась в соответствии с общепринятыми методиками, применяемыми при обработке результатов упругопластического деформирования образцов. В диссертации использовались

математические методы механики деформируемого твёрдого тела и теории процессов.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

Основные положения научной новизны, результаты и выводы.

Достоверность полученных результатов. Результаты экспериментов, приведённые в диссертации, получены на современном испытательном комплексе СН-ЭВМ в ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», произведена верификация данных. Указанные результаты соответствуют экспериментальным данным, полученным на других материалах и в других научных школах.

Личный вклад автора состоит в конкретизации методики и планировании проведения экспериментальных исследований, в непосредственной реализации программ испытаний различных видов программ деформирования, отражённых в диссертации, в обработке, анализе полученных данных, их сравнении с результатами других исследований на основе теории процессов пластического деформирования, а также в публикациях материалов по теме диссертационной работы в различных научных изданиях.

Апробация работы. Основные результаты работы были изложены в виде докладов на научных конференциях-семинарах «Современные проблемы теории упругости и пластичности», проведенных на кафедре сопротивления материалов, теории упругости и пластичности в ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» в 2020–2023 гг. и на кафедре теории упругости в МГУ им. М.В. Ломоносова в 2023 г.; на 53-х – 58-х Международных научно-технических конференциях преподавателей и студентов в 2020–2025 гг. в УО «Витебский государственный технологический университет» (город Витебск); на IX Международном научном симпозиуме, посвященном 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора В.Г. Зубчанинова (г. Тверь), 2020г.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 191 наименований, и

приложения. В диссертации 179 страниц основного текста, в том числе 3 таблицы и 72 рисунка, а также приложение, на 68 страницах содержащее результаты экспериментов на цилиндрических оболочках и документы о внедрении.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕОРИИ

1.1. Развитие теории пластичности до XX в.

На сегодняшний день наука о прочности материалов, к которой относятся сопротивление материалов, теоретическая и строительная механика, динамика и прочность, теория упругости, теория пластичности и ползучести, а также механика деформируемого твердого тела, – это наука о свойствах материалов и их использовании в различных отраслях промышленности. Вместе с тем эта наука помогает производить новые материалы, а значит, и конструкции, которые имели бы небольшой вес, размеры, обладали хорошей прочностью и работали не только в условиях упругих деформаций, но и пластических. В последние годы были изобретены легкие углепластиковые материалы, конструкции, применяемые в авиастроении, судостроении и самолетостроении. Прочностью обладают все конструкции и материалы. Однако существуют критические ситуации, когда уменьшение веса, размеров конструкций приводит к снижению прочности, а следовательно, и к авариям. К серьезным мировым авариям можно отнести разрушение Корнуэльского моста и Бузельской плотины, Квебекского и Мюнхенштайнского мостов.

Прочность отдельных материалов была известна еще с античных времен. Однако только в V в. до н. э. дали научное обоснование прочностным свойствам материалов в строительстве, но не учли прочностные, упругие и пластические свойства.

В XVII в. Гук открыл зависимость между нагрузкой и деформацией на основе экспериментальных исследований растяжения пружины, Ньютон опубликовал свой труд «Математические начала натуральной философии» (в 1687 г.), а затем и три свои закона, т. е. началось развитие математики, физики и, как следствие, науки

о прочности. Вместе с тем в Европе происходила Великая индустриальная революция (1760-е – 1840-е гг.): появлялись промышленные предприятия, железные дороги. А это приводило к увеличению спроса на рельсы, кирпич, бетон, арматуру, различные измерительные приборы и аппаратуру. Возникали новые методы и средства испытаний материалов и конструкций. Все это способствовало развитию теории прочности, сопротивления материалов, теории упругости.

В начале XVIII в. строительная механика еще была слабо развитой, поэтому теоретическими исследованиями занимались не инженеры-строители, а теоретики, рассчитывающие каменные конструкции. Все изменилось, когда в строительстве начали применять чугун и металл. Исследование изгиба колонны, стержня стало первоочередной задачей, которую необходимо было решить в первую очередь. Р. Гук (1635–1703 гг.) пришел к выводу, что в природе нет абсолютно жестких тел, а упругость – свойство любой конструкции, всякого твердого тела. Он также много работал и с деревянными конструкциями, проводил эксперименты на изгиб при различных нагрузках. В результате исследователь заключил, что волокна в нижней части бруса растягиваются, а в верхней – сжимаются. И ученые постепенно пришли к понятиям «деформация» и «напряжение». Однако не было ясно, каково различие между растяжением и сжатием. И только через 100 лет, в конце XVIII в., Т. Юнг открыл главную зависимость сопротивления материалов: напряжение деформации равно константе. Далее он сделал вывод, что эта зависимость присуща всем материалам. Данная константа сейчас называется модулем Юнга. Так, например для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, для дюралюминия $E = 0,75 \cdot 10^5$ МПа и т. д. Как любая константа, E описывает жесткость материала. Эту величину Юнг назвал модулем упругости (сейчас это модуль Юнга). Она и сегодня входит в основной закон теории упругости – закон Гука. Необходимо отметить, что как при растяжении-сжатии, так и при кручении (предположим, стержня) модуль упругости для определенного материала остается постоянным. Это привело ученых к решению практических задач, например в строительстве.

Немаловажную роль в науке в первой половине XIX в. сыграли французские ученые Пуассон, Коши, Навье. Механики-теоретики обратились к предельным

величинам напряжений. Они исследовали предельные значения напряжений в пределах упругости. Это и стало основным толчком для развития теории упругости, а также теории пластин и оболочек.

Большое внимание в XVIII в. французское правительство уделяло развитию науки о сопротивлении материалов. В 1794 г. в Париже открылась Политехническая школа, в которой преподавателями были такие известные на тот момент ученые, как Жозеф Луи Лагранж, Гаспар Монж, Симеон Дени Пуассон и другие, продолжившие изучение основ теории упругости. Они предлагали новые расчеты по реальному состоянию конструкции (упругому), а не предельному (по разрушению), как было до этого. В первой половине XIX в. Коши выводит свои основные уравнения теории упругости, которые до сих пор изучаются в высших учебных заведениях. Он проанализировал тело маленьких размеров и сделал вывод, что на всех его гранях должны быть уравнивающие силы, т. е. тело должно находиться в равновесии. Чуть позже Анри Навье, Огюстен Луи Коши и Симеон Дени Пуассон доказали, что в теории три уравнения равновесия Луи Коши необходимы и достаточны для определения напряжений в твердом теле. В дальнейшем Адемар Жан-Клод Барре де Сен-Венан развил механику твердого тела, теорию упругости и теорию кручения призм. Им также был открыт в сопротивлении материалов принцип, получивший его имя. Важный вывод, который сделал Сен-Венан, гласит: уравнения теории изгиба, полученные Бернулли и Эйлером в XVIII в., точно описывают процесс и обладают хорошей практической точностью, а другой вывод – ошибка расчетов Навье в задаче о кручении призматических тел. Сен-Венан также предложил теорию пластичности для двумерных задач на основании экспериментальных исследований, проведенных французским инженером Треска. В начале XX в. работы Сен-Венана продолжили Р. Мизес, Л. Прандтль, а затем – А. Надаи, Д. Друккер и др. [162].

В это время (в конце XIX в.) в России появляется своя научная школа, в которой исследования касательных напряжений проводит Н.И. Журавский. И связано это, прежде всего, со строительством железной дороги Санкт-Петербург — Москва.

Итак, можно сделать вывод, что знания ученых, инженеров и конструкторов, накопленные в предыдущие века, были применены на практике в XIX в. С учетом полученных экспериментальных исследований и теоретических основ такие знания помогли создать теорию сплошного идеального твердого тела в сопротивлении материалов, а в механике твердого тела – теорию, необходимую для расчетов на прочность, устойчивость конструкций. Однако была открыта усталость материалов, которая потребовала развития сложных вычислительных математических методов, среди которых следует назвать графические методы Д. Максвелла и К. Кульмана.

Казалось, что в сопротивлении материалов все было учтено, но большое количество аварий, человеческих жертв говорило, что многие расчеты и исследования не были реализованы. В связи с этим возникла необходимость в учете многих факторов, таких как боковая ветровая нагрузка для мостов, прочность основания сооружений, а также ситуаций, когда «срезались» болты и заклепки, лопались валы и т. д. В XIX в. и начале XX в. происходит большое количество аварий, связанных с разрушением валов морских судов, металлических конструкций. Исследования показали, что разрушения начинаются с микротрещины, зародившейся в глубине конструкции и развивающейся к ее поверхности по всей окружности. Поэтому подход к материалу как абсолютно сплошному не соответствует истине, а следовательно, необходим новый, более прогрессивный подход. К тому же возникла необходимость учета пластических деформаций и деформаций ползучести. Предсказание развития, зарождения трещин гарантирует успех в борьбе с ними. Изучение шумов при деформировании – одно из направлений исследования трещин, возникающих в крыле самолета, оболочках, корпусах лодок, атомных реакторах. Конструкция шумит перед самым разрушением. Акустическое исследование конструкций осуществляют и сегодня для предвидения опасного состояния самолетов, подводных лодок, труб, котлов и т. д. В наши дни из-за трещин также происходят катастрофы, поэтому борьба с трещинами продолжается.

В конце XIX в. делают попытки математически описать теорию упругости под руководством А. Клебша. Также начинают учитывать температурные эффекты. Этим занимается Д. Максвелл.

В первой четверти XX в. при исследовании пластических свойств материалов стало понятно, что порядок атомов при пластических деформациях нарушается. Причем Д. Тейлор обнаружил, что часть энергии (примерно $1/10$) остается в материале в виде запасенной упругой деформации. Стало очевидно, что для изучения пластической деформации необходимо более глубокое ее исследование. Д. Тейлор проанализировал дислокации материала при деформировании и пришел к выводу, что в процессе его происходит упрочнение материала, а при еще большем деформировании – охрупчивание образца. Присутствие дислокаций в материалах со временем стали понимать как участок материала с нарушенным порядком; при деформировании дислокаций в материалах становилось все больше. Эта теория повлияла на многие физические трактовки.

Развитие теории упругости приводит к появлению еще одного нового раздела в механике – теории упругости и пластичности. В настоящее время имеется большое количество математических описаний с помощью определяющих соотношений пластических сред, т. е. моделирования деформации сплошной среды (это феноменологический подход).

Итак, механика деформируемого твердого тела до начала XX в. развивалась как на основе опыта ученых, так и в процессе проводимых экспериментальных исследований. Многие законы были открыты чисто экспериментально, путем повторения отдельных явлений. И этот опыт передавался от поколения к поколению, за счет чего развивалась наука под названием «механика». В начале XIX в. активно проходит промышленная революция, усиливается необходимость в механике с развитием производства, судостроения; в строительстве железных дорог и других зданий и сооружений, а также в совершенствовании военного дела. Со временем становится ясно, что, наряду с теорией упругости, требуется глубокое изучение теории пластичности, ползучести, устойчивости, прочности. Начинают зарождаться новые теории пластичности, связи между напряжениями и

деформациями, развиваться механика сыпучей среды, динамические задачи теории упругости, а также гидроаэродинамика, которая связана с проблемами больших скоростей в авиации, баллистике и двигателестроении.

В конце 20-х – начале 30-х гг. XX в. формируется практическая механика, связанная с экспериментальной частью. В Москве (в ЦАГИ) начинают выполнять эксперименты с цилиндрическими оболочками, причем данные эксперименты проводились на сложное нагружение. Еще в XIX в. Сен-Венан и Мизес предложили свои условия пластичности, однако условие пластичности последнего наиболее точно описывалось теоретически, с помощью математического аппарата [162].

1.2. Теория процессов упругопластического деформирования и развитие механики в XX в.

Теория пластичности зарождается в первой четверти XX в. В это время А.А. Ильюшин начинает развитие теории процессов – нового направления в теории пластичности. Его назвали общей теорией упругопластических процессов. В ней были рассмотрены поверхность текучести, геометрическое представление процессов нагружения, деформирования в пятимерных векторных пространствах. В этих пространствах тензоры деформации и напряжений А.А. Ильюшин изобразил векторно, а также ввел понятие «образ процессов». За основу предложил использовать постулат изотропии, принцип запаздывания векторных свойств, теорию изоморфизма, скалярные и векторные свойства материалов, которые характеризует интенсивность процессов [111, 161, 163–164]. Как Рош и Эйхингер, А.А. Ильюшин поддерживает закон о единой кривой упрочнения. Позднее В.Г. Зубчанинов выдвинул теорию пластичности для траекторий малого кручения, доказал постулат локальной размерности образа процессов и создал закон сложной разгрузки материала. Теория упругопластических процессов наглядно описывает возможность геометрического представления процесса деформирования и нагружения, а также дает возможность экспериментальной проверки основных постулатов, что было представлено в работах.

Основные постулаты в теории процессов – общий и частный постулаты изотропии. А.А. Ильюшин считал, что постулат изотропии – частный случай в линейном векторном пространстве. Он предполагал, что существуют материалы, для которых постулат изотропии «не работает», и отмечал, что при исследовании новых сред и материалов необходимо уточнять применимость данного постулата. Постулат изотропии упрощает теоретические и экспериментальные исследования функционалов начально изотропных сред и решение краевых задач, а также законы связи между напряжениями и деформациями [111, 161].

К началу 20-х гг. XX в. развивается механика – система материальных точек и твердого тела. Сказывался большой отрыв в науке от практики, т. е. от прикладной механики. Однако в дальнейшем в механике назрело большое количество фундаментальных проблем, встал вопрос об углублении анализа и математическом ее построении. Так, например А. Лобачевский в XIX в. изучал фундаментально геометрию, которая была неотделима от механики и физики. И сегодня мы геометрически показываем состояние точки напряжения в ней, деформации, углы и т. д. После Первой мировой войны возрастает потребность в гироскопических прицелах, которые становятся насущно необходимыми. Поэтому обостряется потребность в вычислительных методах с появлением математических средств и соответствующих экспериментов. Прежние методы, которые применялись в механике, уже не могли быть использованы для решения важных проблем, нужны были перспективные, новые средства. Появление летательных аппаратов стало значимым моментом в истории аэродинамики и гидромеханики. Так, возникла теория крыла самолета, теория винта и т. д. Здесь использовались работы Н.Е. Жуковского, Л. Прандтля, эти ученые имели представление о физической модели и теоретически прорабатывались. Было необходимо переходить к двумерным и трехмерным задачам, а также учитывать влияние турбулентности. Несколько позже стала развиваться газовая динамика. В 20-х гг. XX в. продолжается работа над упрощенными схемами пластин стержней и предлагается теория оболочек для различных сооружений. Особый интерес проявляют к необратимым деформациям, а также к пластическим.

Одним из известных ученых в области механики был член-корреспондент АН СССР академик артиллерийских наук А.А. Ильюшин (1911–1997 гг.). В 1933 г. он представил свою первую научную работу по специальности «аэрогидромеханика» о расчете лопастей автожира. В 1934 г. придумал аттракцион «Параболоид чудес», который находился на территории парка имени Горького. В 1936 г. защитил кандидатскую, а затем докторскую диссертацию на тему «Деформация вязкого пластичного тела». Во время Великой Отечественной войны в связи со «снарядным голодом» исследовал динамические процессы в стволе орудия при движении по нему снаряда. По результатам таких исследований он предложил теорию, обеспечивающую упрощение и удешевление изготовления артиллерийских снарядов. Во время войны он решил также и другие проблемы испытания танковых броней, защитных сооружений и т. д. Тем самым «снарядный голод» был преодолен. Он допустил, что при выстреле могут появляться пластические деформации снаряда. После войны А.А. Ильюшин работал над проблемами появления твердых тел при динамических нагрузках. В 1948 г. в своей книге «Пластичность» он формулирует теорию малых упругопластических деформаций и получает Сталинскую премию. В конце 40-х гг. им же была сформулирована задача крылатых ракет. Проблема устойчивости деформирования вязкопластических тел впервые была рассмотрена в работах А.А. Ильюшина и А.Ю. Ишлинского; первый исследователь предложил краевую задачу устойчивости вязкопластического течения.

В 1954 г. А.А. Ильюшин разрабатывает общую математическую теорию пластичности при малых и конечных деформациях, предлагает постулат изотропии, который и на сегодняшний день является основным постулатом пластичности. В 60-х гг. А.А. Ильюшин выпустил нормы прочности для конструкторов, проанализировал материал при взрывах и предложил универсальный метод СН-ЭВМ. В начале 90-х гг. стал инициатором решения проблемы концентрации напряжений в парогенераторах, которые приводили к авариям. Здесь была применена теория пластичности и упругости процессов, с помощью которой удалось повысить надежность конструкций. А.А. Ильюшин также занимался

проблемами динамики, исследовал процессы в трубопроводах, находящихся на глубине, при землетрясениях; построил теорию, являющуюся теорией сейсמודинамических расчетов; предложил методы моделирования подземных взрывов. Он изучил динамические свойства конструкций, отбрасывание горных пород, воздействие взрывов на преграды и т. д.

Во второй половине XX в. считалось, что механика твердого тела построена на эксперименте, а определяющие соотношения есть основной уклон в механике. Однако это утверждение касается в основном либо частных задач, либо общих. Поэтому экспериментальные исследования уходят глубоко за пределы логической математической представимости [137–156]. Если говорить об усталостной прочности материалов, например бетона, то здесь исследования носят исключительно эмпирический характер. Теория выносливости не имеет строгого математического аппарата и экспериментального исследования, поэтому результаты расчетов и экспериментов являются приближенными. Существенного развития теории усталостного поведения металлов стоит ожидать лишь после объединения усилий материаловедов, механиков, физиков и т. д. Большим шагом вперед следует считать разработку теории несовершенства кристаллических тел, теории предельного состояния тел с усталостными трещинами, усталостного разрушения, теории циклической пластичности малоциклового усталости, а также разработки методов оценки усталостного разрушения.

К середине XX в. в механике твердого тела, наряду с теорией упругости, развиваются теория вязкопластичности, теория устойчивости и ряд других. Большое значение для промышленности имеет еще одно направление в механике деформируемого твердого тела – обработка металлов давлением, т. е. возникновение больших пластических деформаций (прокатка профилей, труб, листов и т. д.).

Теория прочности деформируемых тел была развита А.Ю. Ишлинским в 60–90-х гг. XX в. В трудах А.А. Ильюшина развивалась теория определяющих соотношений в механике деформируемого твердого тела. В этих трудах он впервые представил зависимость между напряжениями и деформациями, обобщил правила

построения единой кривой Роша и Эйхингера. В дальнейшем эту теорию стали называть теорией процессов пластического деформирования. В настоящее время она достаточно перспективна в плане математического моделирования.

На современном этапе в механике деформируемого твердого тела появляется еще одна теория – теория композитов. Созданы принципы построения новых математических соотношений, которые были найдены экспериментально или из решения отдельных задач. Композитные материалы широко применяются в авиа-, самолето-, судостроении и т. д. Сегодня данная теория разработана и является одним из перспективных направлений в механике. Большой вклад в теорию определяющих соотношений внес А.Ю. Ишлинский [132–134].

В настоящее время накоплены экспериментальные и теоретические данные о движении газов, плазмы, жидкостей, поведении физических полей и тому подобном; продолжает активно развиваться механика разрушения.

Совершенствование современной техники отражается и на механике твердого тела. Так, возникает необходимость учитывать влияние высоких температур, давления, радиации; внедряются высокопрочные композиционные материалы. Это указывает на учет не только упругих, но и пластических, вязкопластических свойств. Поэтому механика твердого тела идет по пути усложнения постановки задач и моделей деформирования. В математических исследованиях развивается теория осреднения дифференциальных операторов с частными производными, которая позволяет упростить решение дифференциальных уравнений.

Основная задача механики деформируемого твердого тела – исследование процессов деформирования с учетом экспериментальных исследований для решения конкретных практических задач. В упругости уравнения связи между напряжениями и деформациями можно записать в виде конечных величин, в пластичности уравнения связи записываются в дифференциалах. Поэтому решения задач пластичности достаточно сложны.

Важное значение для развития механики имеют работы, посвященные задаче о прочности и разрушении конструкций различных материалов, причем в конструкциях могут протекать длительные процессы, особенно с учетом

температур, излучения, многоцикловая и малоцикловая усталость. При циклических нагрузках происходит смена усилий и, соответственно, поверхностные разрушения при действии различных напряжений. Длительному разрушению подвержены не только металлы, но и керамика, стекло, полимеры и др. Поэтому на таких материалах необходимо проводить расчеты на длительную прочность.

Н.Е. Жуковский, создатель аэромеханики, установил ряд принципов теоретической аэродинамики. Он доказал теорему о подъемной силе крыла, скорости воздуха около крыла и разработал вихревую теорию. Большое значение для развития механики корабля имеют работы А.Н. Крылова. Он провел исследования для Военно-морского флота, показал новые способы бронирования кораблей и исследовал вопросы их непотопляемости. Еще одним направлением развития механики твердого тела является теория течения, которую развивали Ю.Н. Кадашевич, А.Н. Новожилов, а также В.С. Бондарь со своими учениками [3–5, 135]. На сегодняшний день эти два направления (теория процессов [7–91] и теория течения [105–107, 108–131]) являются основополагающими и конкурирующими в теории пластичности.

К середине 50-х гг. XX в. активно развиваются математические и экспериментальные методы исследования. Происходит переход к изучению механизмов и их работы; возникает теория машин и механизмов, которая вплотную подходит к созданию роботов и манипуляторов. Из-за растущих потребностей в технике появляются работы в нелинейной механике; возникает еще одно направление в механике – ракетодинамика, в которой представлены динамика тела, баллистика и т. д. Известный ученый А.Ю. Ишлинский предложил и развил теорию гироскопов, а также заложил основы использования современных навигационных систем [132–134].

В развитии теории упругости важную роль сыграли исследования С.Е. Тимошенко, Н.И. Мусхелишвили, многие задачи были решены А.Ю. Ишлинским и др. Академик С.А. Христианович разработал приближенный метод характеристик, который применил в теории пластичности, в гидродинамике

и газодинамике. Большую роль в связи с потребностями практики сыграли научные исследования по прикладной механике, являющейся фундаментальной и имеющей большое значение для различных областей машиностроения. Все чаще механика твердого тела становится наукой не отдельных ученых, а целых научных коллективов. Теория пластичности так же, как любая теория, охватывает достижения в экспериментальной части и теоретической, без сомнений являясь основополагающей наукой.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Постулат изотропии был создан профессором, доктором физ.-мат. наук, членом корреспондентом АН СССР и РФ А.А. Ильюшиным [110–118].

2.1. Напряженно-деформированное состояние упругопластических тел и тензоры напряжений и деформаций

Для описания напряженно-деформированного состояния в точке тела используют тензоры напряжений и деформаций.

Тензоры напряжений и деформаций становятся известными в каждой точке тела, характеризуемой координатами $x_{(i)}$ $i = 1, 2, 3$, если в этих точках заданы компоненты тензоров напряжений σ_{ij} и деформаций ε_{ij} как непрерывные функции t и координат x и t . В развернутом виде тензоры напряжений и деформаций представляются в виде:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{1.1} & \sigma_{1.2} & \sigma_{1.3} \\ \sigma_{2.1} & \sigma_{2.2} & \sigma_{2.3} \\ \sigma_{3.1} & \sigma_{3.2} & \sigma_{3.3} \end{pmatrix}; \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1.1} & \varepsilon_{1.2} & \varepsilon_{1.3} \\ \varepsilon_{2.1} & \varepsilon_{2.2} & \varepsilon_{2.3} \\ \varepsilon_{3.1} & \varepsilon_{3.2} & \varepsilon_{3.3} \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

Геометрически тензоры напряжений и деформаций имеют вид трех векторов:

$$\sigma_{(ij)} = \begin{pmatrix} \sigma_{1.1} \\ \sigma_{2.1} \\ \sigma_{3.1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1.2} \\ \sigma_{2.2} \\ \sigma_{3.2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1.3} \\ \sigma_{2.3} \\ \sigma_{3.3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{1.1} \cdot \hat{e}_1 + \sigma_{2.1} \cdot \hat{e}_2 + \sigma_{3.1} \cdot \hat{e}_3 \\ \sigma_{1.2} \cdot \hat{e}_1 + \sigma_{2.2} \cdot \hat{e}_2 + \sigma_{3.2} \cdot \hat{e}_3 \\ \sigma_{1.3} \cdot \hat{e}_1 + \sigma_{2.3} \cdot \hat{e}_2 + \sigma_{3.3} \cdot \hat{e}_3 \end{pmatrix} = x_i \hat{e}_{1i}, \quad (2.3)$$

где $x_i = \sigma_{ij}e_i$, а квадрат модуля

$$S^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = \sigma_{ij} \sigma_{ji} = \sigma_{1.1}^2 + \sigma_{2.2}^2 + \sigma_{3.3}^2 + 2\sigma_{1.2}^2 + 2\sigma_{2.3}^2 + 2\sigma_{1.3}^2. \quad (2.4)$$

Если принять разложение компонент тензора напряжений $\sigma_{ij} = \sigma_0 \cdot \delta_{ij} + S_{ij}$, то модуль тензора напряжений n тривектора

$$S^2 = 3\sigma_0^2 + \sigma^2, \quad (2.5)$$

где $\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{1.1} + \sigma_{2.2} + \sigma_{3.3})$; $\sigma^2 = S_{ji} \cdot S_{ij}$, величины σ_0 и σ носят названия модулей шарового тензора и девиатора напряжений (S_{ij}).

Из полученного результата следует, что модуль тензора напряжений n тривектора можно записать в виде:

$$S = \sqrt{3\sigma_0^2 + \sigma^2}; \quad (2.6)$$

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3, \quad (2.7)$$

где $\bar{S}_1$ – первая колонка тензора напряжений; $\bar{S}_2$ – вторая колонка тензора напряжений; $\bar{S}_3$ – третья колонка тензора напряжений.

Складывая тривектор, получим выражение

$$\bar{S} = (\sigma_{1.1} + \sigma_{1.2} + \sigma_{1.3}) \cdot \hat{e}_1 + (\sigma_{2.1} + \sigma_{2.2} + \sigma_{2.3}) \cdot \hat{e}_2 + (\sigma_{3.1} + \sigma_{3.2} + \sigma_{3.3}) \cdot \hat{e}_3.$$

Примем, что σ_{ij} раскладывается на сумму двух напряжений:

$$\sigma_{ij} = \sigma_0 \cdot \delta_{ij} + \bar{S}_{ij}, \quad (2.8)$$

где $\bar{S}_{ij}$ – модуль девиатора напряжений;

$$S^{(3)} = \sigma_0 \cdot (e_1 + e_2 + e_3); \quad (2.9)$$

$$S^{(3)} = (S_{1.1} + S_{1.2} + S_{1.3}) + (S_{2.1} + S_{2.2} + S_{2.3}) + (S_{3.1} + S_{3.2} + S_{3.3}); \quad (2.10)$$

$$S = \sqrt{3\sigma_0^2 + \sigma^2} \cdot \cos \alpha - \quad (2.11)$$

формула Коши.

Вектор напряжений на произвольной площадке $\bar{n} = n_i \hat{e}_i$ выглядит как

$$\bar{S}_n = \bar{S}_{1n1} \cdot \bar{S}_{2n2} \cdot \bar{S}_{3n3} = \bar{S}_i n_i = x_i \varepsilon_i; x_i = \sigma_{ij} n_j \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (2.12)$$

Направление, при котором это напряжение $\bar{S}_n$ совпадает с направлением нормалей, носит собственное направление напряжений.

Собственные значения напряжений:

$$\bar{S}_n = \sigma_k n = \sigma_k n_i e_i = \sigma_k (\delta_{ij} n_j) e_i;$$

$$\bar{S}_n = X_i e_i = \sigma_k (\delta_{ij} n_j) e_i.$$

Главное (нормальное) напряжение

$$(\sigma_{ij} - \sigma_k \delta_{ij}) n_j = 0,$$

где $n_j n_j = 1$.

Для определения собственных напряжений составим уравнение, приравняв напряжение Коши (S_n):

$$S_k^3 - I_1 S_k^2 + I_2 S_k - I_3 = 0, \quad (2.13)$$

где $I_1 = \sigma_{ii} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma_0$; $I_2 = \sigma_{ii} \sigma_{ij} = 9\sigma_0^2 - S^2$, $S^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2$;
 $I_3 = |\sigma_{ij}| = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$.

Если $\sigma_0 = 0$ или $S_k = \sigma_k - \sigma_0$, то характеристическое уравнение $S_k^3 - I_1 S_k^2 + I_2 S_k - I_3 = 0$ принимает другой вид, где $I_1 = 0$; $I_2 = \frac{1}{2} S_i S_j$; $I_3 = |S_{ij}|$.

Система уравнений имеет решение

$$S_k = \sigma_1 - \sigma_0 = \sigma \cos \varphi.$$

Подставляя данное решение, мы получим:

$$\sigma_1 - \sigma_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma \cos \varphi; \quad \sigma_2 - \sigma_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right).$$

За основные независимые инварианты могут быть приняты:

$$\sigma_0 = \left(\frac{1}{3} \sigma_{1.1} + \sigma_{2.2} + \sigma_{3.3} \right) = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3);$$

$$\sigma = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}; \quad \sigma_3 - \sigma_0 = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma \cos \left(\frac{2\pi}{3} + \varphi \right),$$

где φ – угол вида напряженного состояния.

2.2. Теория малых упругопластических процессов деформации при простом нагружении и постулатах изотропии А.А. Ильюшина

В 1942 г. профессор А.А. Ильюшин построил теорию МУПД при простом нагружении. Он ввел в теорию пластичности новые понятия, такие как простое и сложное нагружение [115–118]. При простом нагружении (рис. 2.1) все компоненты тензоров (σ_{ij}) изменялись всегда пропорционально одному параметру (t).

При простом нагружении векторы напряжений и деформации изображались прямолинейными участками на одной прямой, причем вектор напряжения (S) строился на конце вектора деформации.

Кроме понятий простого и сложного (рис. 2.2) нагружений, А.А. Ильюшин ввел понятие направляющих тензоров напряжений (компоненты $\frac{S_{ij}}{\sigma}$) и направляющих тензоров деформации ($\frac{\partial_{ij}}{\vartheta}$), где $\sigma = \sqrt{S_{ij} \cdot S_{ji}}$; $\vartheta = \sqrt{\partial_{ij} \cdot \partial_{ji}}$. Эти направляющие тензора приравниваем ($\frac{S_{ij}}{\sigma} = \frac{\partial_{ji}}{\vartheta}$), получаем определяющее соотношение

$$S_{ji} = \frac{\sigma}{\vartheta} \partial_{ji}. \quad (2.14)$$

Для области упругих деформаций связь между средним напряжением σ_0 и средней деформацией ϑ_0 превращается в закон Гука:

$$\sigma_0 = 3k \cdot \vartheta_0, \quad (2.15)$$

где $k = \frac{E}{3(1-2m)}$ – модуль объемной деформации; m – коэффициент Пуассона.

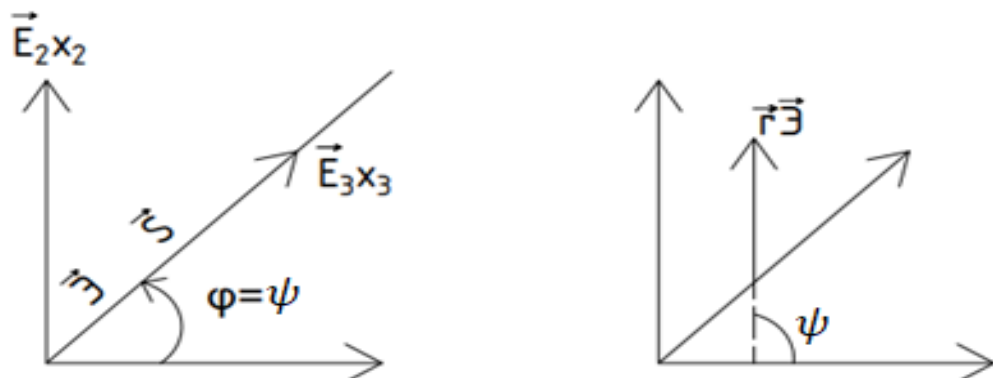


Рис. 2.1. Образ простого нагружения

Рис. 2.2. Образ сложного нагружения ($\downarrow$),
 $\varphi \neq \psi$

где ψ – угол вида деформированного состояния.

Образ процесса деформирования показан на рис. 2.3.

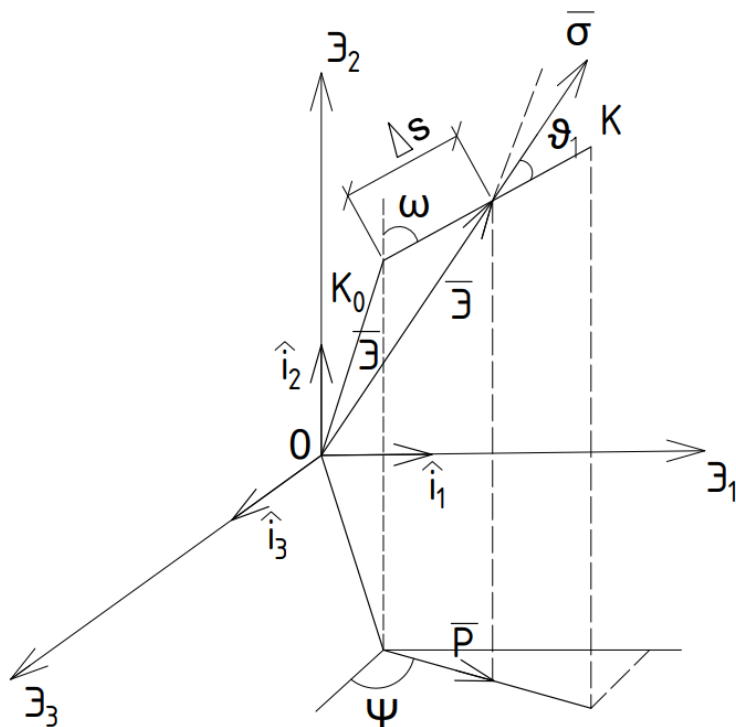


Рис. 2.3. Образ процесса деформирования

При сложном нагружении направляющие тензоры $S_{ij} \cdot \sigma$, S_{ji} не равны направляющему тензору деформации. В этом случае следует учесть сложность нагружения путем умножения направления.

Определяющие соотношения в векторной форме:

$$\bar{S}_0 = 3K\bar{E}_0$$

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= \frac{\sigma}{\bar{\epsilon}} \bar{\epsilon}, \quad \sigma = \phi(\bar{\epsilon}); \\ \bar{\sigma} &= A_k \frac{d^k \bar{\epsilon}}{ds^k} \quad (k = 1, 2, \dots, 5); \\ \frac{d\bar{\sigma}}{ds} &= M_1 \frac{d\bar{\epsilon}}{ds} + M\hat{\sigma}; \\ \left\{ \frac{d^k \bar{\epsilon}}{ds^k} \right\} &\rightarrow \left\{ \hat{p}_k \right\}.\end{aligned}$$

Постулат изотропии: определяющие соотношения связи между напряжениями и деформациями при сложном процессе упругопластического деформирования инвариантны при любых ортогональных преобразованиях вращения и отражения образа процесса:

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= 3K\epsilon_0, \quad \bar{\sigma} = P_k \hat{p}_k \quad (k = 1, 2, \dots, 5); \\ P_k &= P_k\{S, \sigma, \varphi\} \quad \sigma, \varphi - const.\end{aligned}$$

Направляющие тензоры при простом нагружении $x \cos$ углов φ и $\cos \psi$ в связи с изменением их направлений записываются в виде:

$$\frac{\sin \sigma_{ij}}{r} \cdot \cos \varphi \neq \frac{\partial j i}{\partial} \cdot \cos \psi; \quad (2.16)$$

$$S_{ij} \neq \frac{\sigma}{\bar{\epsilon}} \neq \frac{\cos \varphi}{\cos \psi}. \quad (2.17)$$

Таким образом, данное соотношение показывает, что при сложном нагружении теория малых упругопластичных деформаций не выполняется так же, как и постулат изотропии, в соответствии с определением постулата изотропии.

Тогда, уточненный постулат изотропии: образ физического процесса сохраняется при всех преобразованиях вращения и отражается в E_5 , если в соответствующих точках траектории деформирования сохраняются значения параметров ϵ_0, T, β . Для некоторых сред в условиях низких температур и больших нелинейных деформаций постулат изотропии может нарушаться. Однако он всегда может служить первым приближением к уточнению поставленной задачи по установлению связи напряжений с деформациями. Главное в том, что постулат

изотропии позволяет ставить и решать краевые задачи в теории пластичности для сложных сплошных сред.

Связь между напряжением и деформацией заключается в теории упругопластических процессов при сложном нагружении инварианта, если она сохраняется при любых ортогональных преобразованиях вращения и отражения образов процессов нагружения.

В нашем случае при сложного нагружении зависимость между напряжением и деформацией зависит от углов третьих инвариантов, что нарушает определение постулата изотропии. Таким образом, данный постулат всегда выполняется при простом нагружении, при этом зависимость между $\sigma = \Phi(\varepsilon)$ является универсальной единой кривой при упрочнении материала.

Для проверки полученного результата были проведены опыты для случаев растяжения, кручения и сжатия и вычислены соотношения для σ : I_3 , $2Ip$, $\cos 3\varphi$, $\cos 3\psi$ – не должны сильно отличаться.

Ортогональные преобразования образов процессов деформирования при сложном деформировании и нагружении. В соответствии с формулой векторы напряжений в физическом трехмерном пространстве могут быть представлены в виде

$$\bar{S} = x_i \hat{\varepsilon}_i, \quad (2.18)$$

где $x = \sigma_{ji} (i = 1, 2, 3)$.

При ортогональном преобразовании координатного базиса $(\hat{\varepsilon}_i)$ проекция вектора

$$\bar{x}_{ij} = \varepsilon_{ij} \cdot x_j. \quad (2.19)$$

При ортогональном преобразовании модуль вектора сохраняется, поэтому

$$(\bar{x}_{ij} \cdot \bar{x}_{ji} = l_{ij} \cdot x_{ij} \cdot l_k \cdot x_k) = (l_{ij} \cdot l_{ik} \cdot x_{ij} \cdot x_{ik}) = \Delta_{ik}(x_{ij} \cdot x_{ik}),$$

откуда следует

$$l_{ij} \cdot l_{ik} = \Delta_{jk} - \quad (2.20)$$

формула, которая связывает направляющие $\cos l, l_k$ матрицы ортогонального преобразования (l_{ij}) .

Полученная формула может быть развернута в виде системы соотношений:

$$l_{11}^2 + l_{12}^2 + l_{13}^2 = 1;$$

$$l_{21}^2 + l_{22}^2 + l_{23}^2 = 1;$$

$$l_{31}^2 + l_{32}^2 + l_{33}^2 = 1,$$

затем

$$l_{11} + l_{12} + l_{13} \cdot l_{21} + l_{22} + l_{23} \cdot l_{31} + l_{32} + l_{33} = 0. \quad (2.21)$$

Таким образом, при ортогональном преобразовании координатные орты остаются ортогональными (перпендикулярными) друг другу и равными единице. При этом три инварианта тензора напряжений $(\sigma_0, \sigma_k, \sigma_{1,2,3})$ остаются неизменными.

Предположим теперь, что координатные оси остаются неизменными, но происходит ортогональное преобразование $\bar{S}$. В этом случае проекции вектора $\bar{X}_{ij}$ преобразуются по закону $\bar{X}_{ij} = M_{ij} \cdot X_j$, где M_{ij} есть матрица ортогонального преобразования $\bar{S}$. При ортогональном преобразовании $\bar{S}$ его длина не изменяется, поэтому

$$\bar{X}_{ij} \cdot \bar{X}_{ij} = (m_{ij} \cdot X_{ij})(R_{jk} \cdot X_{jk}) = m_{ij} \cdot m_{ij}(X_{ij} \cdot X_{jk}) = \Delta_{jk}(X_{ij} \cdot X_{ik}),$$

откуда следует, что

$$m_{ij} \cdot m_{ik} = \Delta_{jk}, \quad (2.22)$$

где $k = 1, 2, 3$.

Тогда мы получим соотношение, которое аналогично полученному ранее. Из сравнения формул следует, что $l_{ij} = m_{ij}$, где l_{ij} – направляющие косинусы. Значит, все ортогональные преобразования компонент вектора напряжений совпадают с координатами вектора напряжения, а тензоры напряжения совпадают между собой. Это говорит о том, что при ортогональном преобразовании вектора напряжений все инварианты тензора напряжений также сохраняются. Таким образом, постулат изотропии сохраняется и выполняется. Однако ранее было отмечено, что тензор и вектор напряжений обладают скалярными и векторными свойствами, при этом 3-й

инвариант тензора напряжений изменяется, поэтому формулировка постулата изотропии не будет выполняться, кроме случая простого нагружения.

Если изменения и влияния 3-го инварианта являются слабыми; этим влиянием можно пренебречь и считать, что постулат изотропии выражается достаточной для практики степенью точности. В таком случае рекомендуется постулат изотропии переформулировать следующим образом: связью между напряжением и деформацией при упругопластичной сложной деформации инварианта, если влияние 3-го инварианта на эту связь является слабой, можно пренебречь.

Преобразование вращения и обращения траектории деформации (задаваемых программ деформирования) не сказывается на отклике в пространстве напряжения (этим влиянием можно пренебречь). Значит, 3-м инвариантом для напряженно-деформированного состояния можно пренебречь, что и подтверждается экспериментами. Расхождения в разных экспериментах находятся в пределах погрешности экспериментальных данных.

В соответствии с формулами отношение 3-го инварианта тензора напряжений имеет выражение

$$\frac{I_3^\sigma}{I_3^\varepsilon} = \frac{\sigma^{(3)}}{\varepsilon^{(3)}} = \frac{\cos 3\varphi}{\cos 3\psi}. \quad (2.23)$$

Представляют интерес их отношения в опытах для простого нагружения при сжатии и кручении и для случая сложного нагружения для образов процессов в форме окружностей.

В диссертации представлены результаты опытов при ортогональном преобразовании для трех положений при $\varphi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$, а также для окружностей при аналогичных значениях углов φ .

Дело в том, что при ортогональном преобразовании простых процессов нагружения и сложных процессов в виде окружностей отношение трех инвариантов напряжений и деформаций зависит как от скалярного отношения величин $\frac{\sigma}{\varepsilon}$, так и от отношения $\cos$ упрощенных углов вида формоизменения.

Представление тензоров напряжений и деформаций многомерных координатных пространств в линейной алгебре впервые изобразили А.А. Ильюшин и В. Прагер [117, 118, 162, 165].

А.А. Ильюшин поставил в соответствие тензору напряжений шестимерное координатное пространство и соответствующий шестимерный вектор напряжений:

$$\bar{S} = X_{ij} \cdot \widehat{\varepsilon}_{ij} (\varepsilon = 1, 2, 3 \dots 6),$$

где за координаты линейного пространства была принята упорядоченная система компонент тензора напряжений:

$$\begin{aligned} x_1 &= \sigma_{11}; x_2 = \sigma_{22}; x_3 = \sigma_{33}; \\ x_4 &= \sqrt{2}\sigma_{12}; x_5 = \sqrt{2}\sigma_{23}; x_6 = \sqrt{2}\sigma_{31}. \end{aligned}$$

Аналогично для тензора деформации были приняты компоненты вектора в виде $y_1 = \varepsilon_{11}; y_2 = \varepsilon_{22}$ и т. д.

Представление векторов напряжений и деформаций тензоров считалось эквивалентным, если у них равны модули, т. е. модуль

$$S^2 = \sigma_{ij} \cdot \sigma_{ij} = \sqrt{2}x_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (2.24)$$

аналогично для вектора деформаций и тензора деформаций:

$$\varepsilon^2 = \varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij} = \sqrt{2}y_i \cdot y_i. \quad (2.25)$$

Профессор А.А. Ильюшин представил также другой вариант компонент тензора – напряжение в векторном пространстве, пятимерном E_5 (девиатор). Он разложил тензор напряжений на шаровой тензор σ_0 и девиатор напряжений:

$$(S_{ij}) = \begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{Bmatrix}. \quad (2.26)$$

Данному тензору он поставил в соответствие одномерное подпространство всестороннего растяжения напряжениями r_0 и совмещенного пятимерного подпространства E_5 с напряжением S_{ij} (с компонентами) (аналогично для тензора деформации). Таким образом, вектор напряжений и вектор деформаций были представлены в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{S} = X_k \cdot i_k ; \\ \sqrt{\frac{2}{3}} \hat{E}_1 = \frac{1}{2} (\hat{E}_2) + \hat{E}_3 ; \\ \hat{i}_2 = \frac{E_2 - E_3}{\sqrt{2}} ; \\ i_3 = \hat{i}_4 ; \\ \hat{i}_4 = \hat{i}_5 ; \\ \hat{i}_5 = \hat{i}_6 . \end{array} \right. \quad (2.27)$$

А.А. Ильюшин принял для анализа ортогональных преобразований 2-й вариант в пятимерном пространстве конечного вектора деформации. В каждой точке траектории деформации построил внутреннее напряжение и отнес к этим точкам подвижные координатные неординарные репера dp_k/ds , где $S_{\text{мал}}$ – длина дуги траектории, а также отнес к этим точкам скалярные физические параметры: температуру T , скорость деформации $\dot{S}$ и другие параметры. Так, получим образ процессов нагружения.

Если вместо неортогонального подвижного репера dp_k/ds ввести ортогональный подвижный репер $(\hat{p}_k)$, то значение этих единичных векторов репера $\hat{p}_k$ будут определяться по рекуррентной формуле

$$\frac{d\hat{p}_k}{ds} = -a\varepsilon_{k-1}\hat{p}_{k-1} + a\varepsilon_k\hat{p}_{k+1}. \quad (2.28)$$

Векторы напряжения в каждой точке траектории образов процессов можно разложить по направлениям ортов сопровождающего репера $(\hat{p}_k)$. В результате получим вектор $\bar{\sigma} = p_k \cdot \hat{p}_k$ либо дифференциал от этого производного $p_k \cdot \hat{p}_k$:

$$\bar{\sigma} = p_k \cos \beta_k \quad (k = 1, 2, \dots, 5), \quad (2.29)$$

где β_k – угловые координаты вектора $\bar{\sigma}$.

В простейшем случае для $k = 1$ получаем простейшее определяющее соотношение. В последующих случаях, если оставить два первых слагаемых p_1 и p_2 , получим:

$$d\sigma_{\frac{ds}{}} = p_1 \cdot \widehat{p_1} + p_2 \cdot \widehat{p_2}; \quad (2.30)$$

$$\bar{\sigma} = \cos \beta_1 p_1 + \cos \beta_2 p_2. \quad (2.31)$$

Здесь в соотношениях три вектора $(\bar{\sigma}, p_1, p_2)$ лежат в одной плоскости, такое предположение носит название «гипотеза компланарности» (все векторы лежат в одной плоскости), при этом $\cos \beta_2$ будет равен $\cos 90^\circ - \beta_1$. Исключая из системы уравнения вектор $\widehat{p_2}$, приходим к соотношению вида

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1 \frac{d\bar{\sigma}}{ds} + M \hat{\sigma}. \quad (2.32)$$

Если умножить скалярно обе части и учесть $\bar{\sigma} = \hat{\sigma}$, то получим соотношение

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1 \hat{p}_1 + \left(\frac{d\sigma}{ds} - M_1 \cos \beta_1 \right) \hat{\sigma}, \quad (2.33)$$

где $\cos \beta_1 = \hat{\sigma} \hat{p}_1$, а угол β_1 называется углом сближения внутреннего напряжения σ к касательной траектории в данной точке.

В работе В.Г. Зубчанинова, кроме уравнения (2.33), было получено уравнение для определения угла сближения β_1 , которое носит название угла сближения вектора напряжения к касательной траектории $p_1 \frac{d\hat{p}_k}{ds}$ от

$$\bar{\beta}_1 + K_1 = -\frac{m_1}{\varepsilon} \cdot \sin \beta. \quad (2.34)$$

Для вычисления m_1 была предложена расчетная формула

$$m_1 = 2G_p + (2G - 2G_p) \cdot f^q(\beta_l), \quad (2.35)$$

где $f = \frac{1 - \cos \beta_1}{2}$.

$\sigma = \Phi(s)$ либо $m_1 = 2G_p + (2G - 2G_p^0) \cdot f^q(\beta_1)$, если траектория имеет точку излома. Таким образом, соотношения позволяют теоретически рассчитывать процессы упругопластического деформирования для материалов плоских траекторий.

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СН-ЭВМ, ОБРАЗЦЫ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Общая часть

Для исследования процессов сложного нагружения материалов и их структуры в эксперименте использовались трубчатые цилиндрические образцы. Проверялось напряженно-деформированное состояние цилиндрических оболочек при растяжении с кручением (рис. 3.1) в пространстве деформаций. Изотропные стальные образцы стали 45 и образцы из разнсопротивляющегося сплава В95 имели толщину стенки $h = 1$ мм, радиус срединной поверхности $R = 15,5$ мм, длину рабочей части $l = 110$ мм. Материал образцов стали 45 изначально изотропен. Модуль упругости образцов стали 45 составлял $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$; $\sigma_T = 270$ МПа. При обработке экспериментальных данных принималось условие несжимаемости ($\varepsilon_0 = 0$).

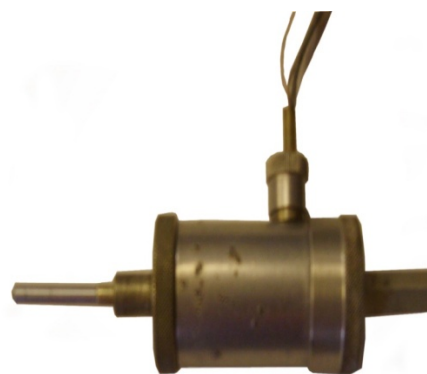


Рис. 3.1. Испытуемые образцы

На рис. 3.2а представлен испытуемый образец с измерителем деформации (тензометр), а на рис. 3.2б – датчик для измерения поперечных деформаций, установленный на тензометр.



а



б

Рис. 3.2. Комплекс СН-ЭВМ: а – тензометр; б – датчик

Испытания проводились на экспериментальном автоматизированном комплексе СН-ЭВМ (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Комплекс СН-ЭВМ

3.2. Экспериментальный испытательный комплекс СН-ЭВМ

Автоматизированный экспериментальный комплекс (см. рис. 3.3) состоит из нагружающей установки, реализующей трехпараметрическое воздействие на образец (осевое нагружение, кручение и внутреннее давление); датчиков усилий и деформаций; системы графического отображения информации (монитора ЭВМ) с управляющей ЭВМ и устройством связи и блока управления [32].

В комплекс входят нагружающая установка, которая воспроизводит осевое нагружение, кручение и внутреннее давление; датчики усилий и деформаций; измерительные преобразователи сигналов датчиков. Блок управления также является согласующим устройством, которое позволяет оператору изменять режим и параметры регулирования эксперимента [168].

Требуемый динамический диапазон работы приводов достигается включением механических редукторов между электродвигателями и формирующими устройствами нагружающей установки.

Выходные сигналы регуляторов управляют функционированием этих приводов. Для достижения требуемого динамического диапазона работы приводов между электродвигателями и формирующими устройствами нагружающей установки включаются механические редукторы.

Для определения компонент нагрузок, воздействующих на образец, используются два типа датчиков. Осевое усилие и крутящий момент измеряются с помощью тензорезисторного датчика-силоизмерителя, внутреннее давление – с помощью потенциометрического датчика 2МД-300Т. Дифференциальный тензометр (см. рис. 3.2а) применяется для определения осевых, угловых и радиальных перемещений точек оболочки [103–104, 168].

Для оперативного контроля за проведением эксперимента информация выводится на экран монитора. Возможна также реализация экспериментов в трехмерном пространстве напряжений или деформаций А.А. Ильюшина.

3.3. Механическая установка комплекса СН-ЭВМ

Фотография экспериментальной установки представлена на рис. 3.4. Основу механической части составляет испытательная машина ЦДМУ-30 (ГДР), которая включает замкнутую силовую раму. На раме размещены элементы крепления образца и приводы, которые осуществляют необходимые усилия.

Это общий облик привода (без двигателя). Основой данного привода кручения является механическая составляющая. С целью улучшения параметров регулирования было проведено увеличение редукции (рис. 3.5) [168].



Рис. 3.4. Привод комплекса СН-ЭВМ



Рис. 3.5. Червячный редуктор
комплекса СН-ЭВМ

Червячный редуктор и траверса представлены на рис. 3.6.

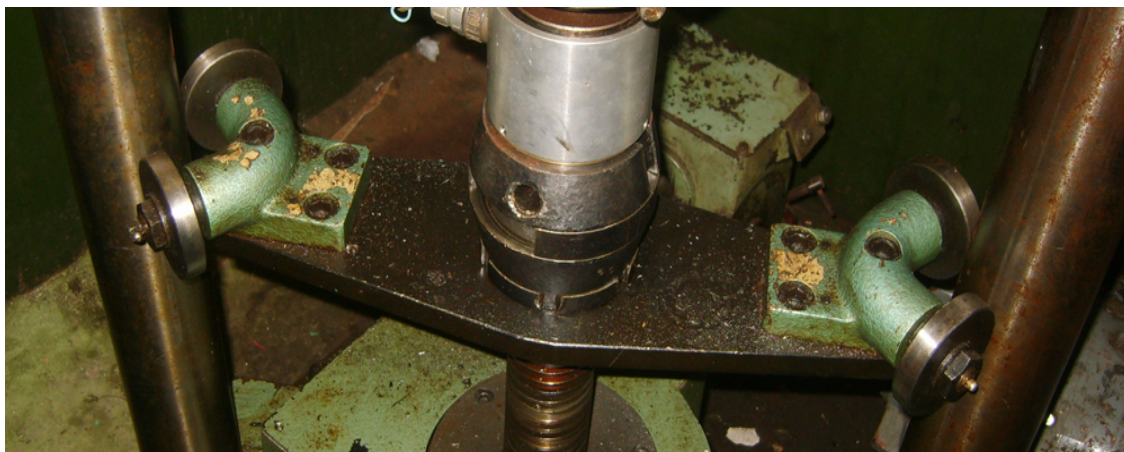


Рис. 3.6. Датчики деформаций и усилий

3.4. Датчики деформаций и усилий, захватные приспособления

Для данного нагружения напряженно-деформированное состояние неоднородно по толщине стенки оболочки. Определение компонентов напряжений и деформаций в полом цилиндрическом образце при осевой силе, закручивающем моменте и внутреннем давлении является проблематичным как с точки зрения методики, так и с технической стороны, поскольку напряженно-деформированное состояние оболочки неоднородно по толщине стенки при заданном нагружении. Если отсутствует внутреннее давление и толщина стенки образца невелика по сравнению с его радиусом, то можно пренебречь неоднородностью.

Конструкция головок образца и захватных приспособлений машины должна обеспечивать локализацию плоскостей возможного изгиба (рис. 3.7) [103–104]. Экспериментальная машина испытывает эксцентрическое приложение усилий, а несовершенство геометрии образца может влиять на изменение аналитического распределения напряжений и деформаций [32].

И, наконец, важно иметь высокую технологичность для монтажа и демонтажа испытываемого образца. Это должно учитываться при выборе конструкции датчиков усилий, образца, захватных приспособлений и тензометра [103–104].



Рис. 3.7. Захватные приспособления

Измерение усилий штатными приборами установки ЦДМУ-30 далеко не совершенно и не удовлетворяет точности проведения эксперимента (рис. 3.8) [168].

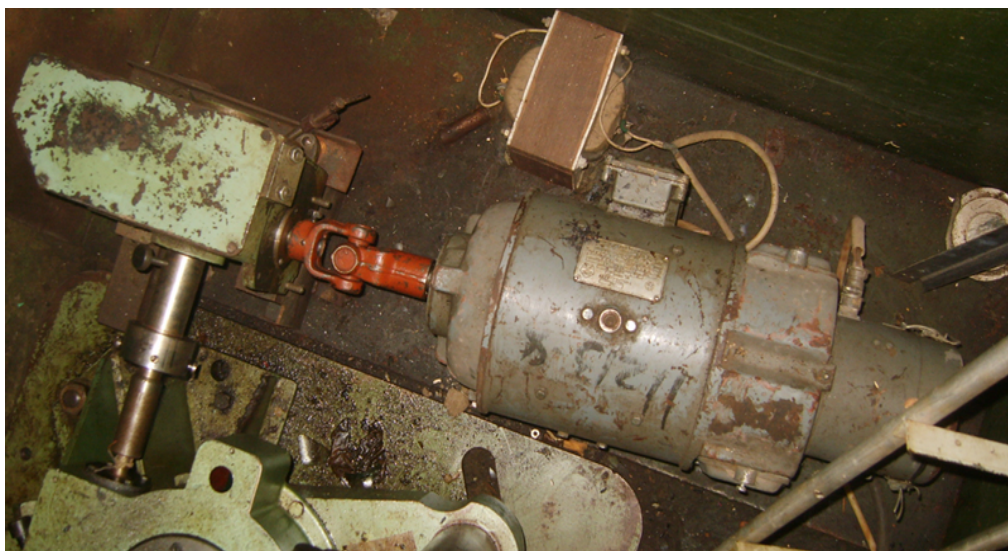


Рис. 3.8. ЦДМУ-30

Вал червячного колеса с выпусками к захватным приспособлениям зажат упорными подшипниками, воспринимающими осевую нагрузку. Нагрузки, действующие на образец (осевая и крутящий момент), измеряются с помощью силоизмерителя типа «белчья клетка» (рис. 3.9) [168].

Фасонные выпуски на валу червячного колеса зажаты упорными подшипниками, которые принимают осевое усилие. Это приводит к чувствительности штатной системы измерения момента к осевому усилию. Однако можно избежать этой проблемы, разместив двухкомпонентный датчик усилий между подвижной и неподвижной траверсами машины (рис. 3.9). Такая схема позволяет измерять усилия прямо на исследуемом объекте.



Рис. 3.9. Траверса

Погрешность в определении компонент нагрузки не превышает 1 %.

3.5. Используемые для эксперимента образцы

В качестве модели, исследуемой на комплексе СН-ЭВМ, применяется трубчатый цилиндрический образец. При достаточно большом отношении радиуса к толщине в образце реализуется однородное плоское напряженное состояние. Пример испытываемого трубчатого образца показан на рис. 3.10.

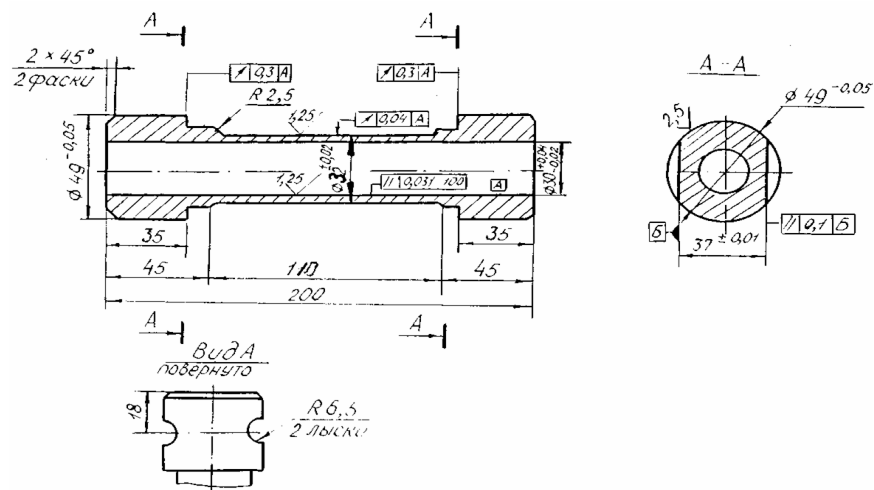


Рис. 3.10. Образец

Изготовление образца предполагает строгие требования к точности испытаний, что обуславливает жесткие ограничения на поля допусков и геометрические отклонения.

Замер испытываемых оболочек производится микрометром МК-50 по ГОСТ 6507-78 с допускаемой погрешностью 0,04 мм (рис. 3.11). Для замера толщины стенки образца используется прибор, представленный на рис. 3.12 [168].



Рис. 3.11. Замер микрометром МК-50



Рис. 3.12. Общий вид замеров образца

Усилия передаются на силоизмеритель через вал, а с другой стороны – через фланцевое соединение кольца с захватом. Датчик рассчитан на измерение осевой силы до 60 кН, крутящего момента до 0,5 кН м и давления до 30 МПа. Погрешность в определении компоненты нагрузки составляет: 1) при растяжении не более 0,12 кН; 2) при кручении 3 нм; 3) при внутреннем давлении 0,2 МПа.

Тарировка производится динамометром ДОР-40 и специальным рычажным приспособлением (рис. 3.13), а также с помощью манометра по ГОСТ 6521-60 (рис. 3.14).

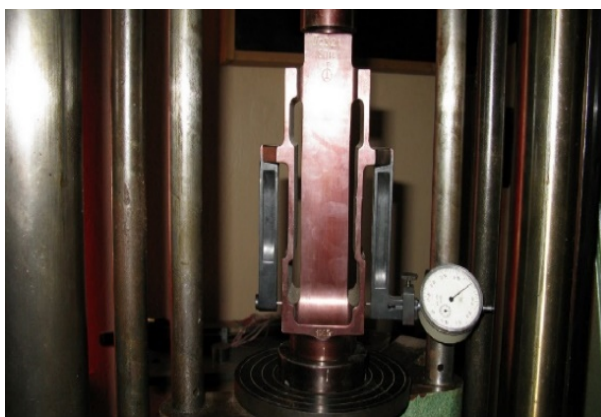


Рис. 3.13. Динамометр ДОР-40



Рис. 3.14. Монометр по ГОСТ 6521-60

Для удержания образца применяются захваты в виде крестообразного шарнира Гука (рис. 3.15). Они легко разбираются, что облегчает монтаж/демонтаж оболочки, тензометра и датчиков. Благодаря наличию крестовин, захваты могут самоустанавливаться под действием приложенных усилий, тем самым исключается влияние изгибающих моментов, если имеется эксцентриситет приложения осевой нагрузки [15].



Рис. 3.15. Захваты

Для измерения осевых, окружных и сдвиговых перемещений точек оболочки в эксперименте применяется дифференциальный тензомер (ДТ) (рис. 3.16).

В эксперименте на сложное нагружение используется тот же ДТ (рис. 3.17) [15, 104–105].

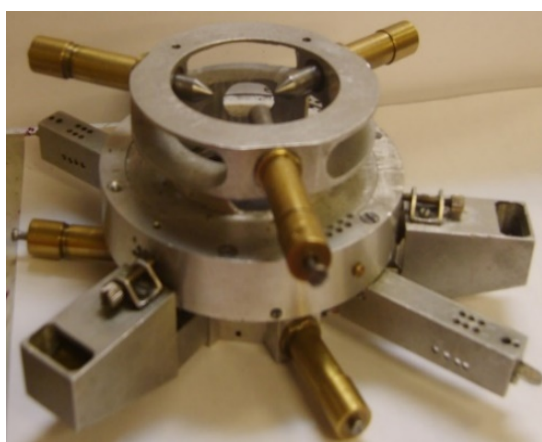


Рис. 3.16. Дифференциальный тензомер



Рис. 3.17. Вкладыши

При помощи ДТ осевое удлинение образца на базе $50 \pm 0,1$ мм измеряется с погрешностью не более $\pm 8-10$ мкм, угла поворота $\pm 9-10$ рад, изменение радиуса оболочки 3–10 мкм. Диапазон работы устройства – осевое перемещение ± 2 мм, угол поворота 0,25 рад, радиальное перемещение 0,6 мм. Единица цифровой регистрации деформации 4–10 на всей шкале и 10 % начала диапазона 4–10. Погрешности измерения являются следствием линейной аппроксимации

собственных характеристик тензометров. Сами по себе характеристики довольно жесткие. Точность по осевым перемещениям составляет $1/10$ мм и углу поворота $1/10$ рад [104–105].

Перед постановкой на образец тензометры градуируются на специальном устройстве, спроектированном на базе теодолита Т-30. Устройство позволяет независимо моделировать процесс растяжения (сжатия) и закручивания образца с точностью по осевым перемещениям 10 мм и углу поворота 10 рад (рис. 3.18) [103–104].

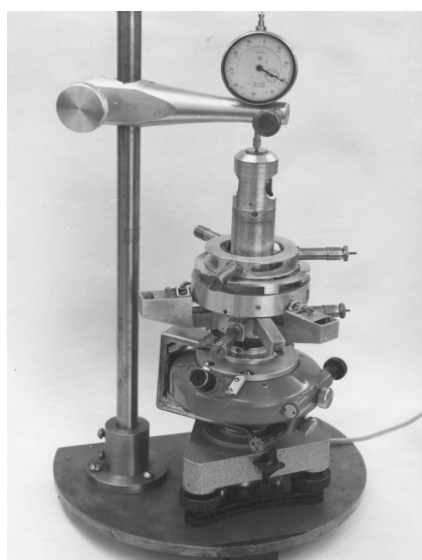


Рис. 3.18. Теодолит Т-30

3.6. Методика установки образца на экспериментальный комплекс СН-ЭВМ

Экспериментальное исследование проводится с помощью ЭВМ и программы, которая заложена для данного исследования. Сначала определяется геометрия трубки, устанавливаются на образец тензометр и датчик поперечных деформаций (рис. 3.19) [103–104]. В ЭВМ вводится исследуемая траектория и скорость нагружения или деформирования. Далее проверяется точность ввода исходных данных. На мониторе автоматически вычерчивается заданная траектория. Затем образец устанавливается в захватные приспособления машины и осуществляется начало испытания. После окончания эксперимента производят

распечатку на ЭВМ в редакторе EXCEL в виде таблиц и строят графики эксперимента.

На рис. 3.20 представлен общий вид системы СН-ЭВМ, а также блок аппаратно-программной реализации управления экспериментом [32]. В процессе эксперимента на экране отображается информация о его ходе, т. е. вычерчиваются графики напряжений и деформаций, оператором производится контроль за проведением опыта.

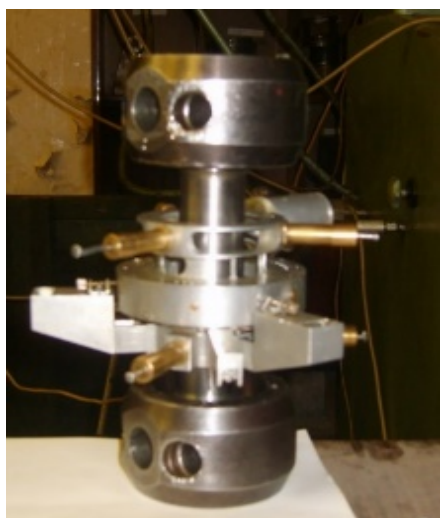


Рис. 3.19. Тензометр
и датчик поперечных деформаций



Рис. 3.20. Общий вид системы СН-ЭВМ

3.7. Химический состав исследуемых образцов

При определении химического состава стали 45 автором был выбран расчлененный способ определения химических составляющих.

При определении углерода применен газообъемный метод на газоанализаторе ГОУ-1 (ГОСТ 22536.1-88). Метод основан на сжигании навески стали в потоке кислорода при температуре 1 250–1 350 °С с последующим поглощением образующегося диоксида углерода раствором гидроксида калия.

При определении кремния был применен гравиметрический метод (ГОСТ 22536.4-88), который основан на выделении кремния в виде полимеризованной кремниевой кислоты из кислого раствора, ее дегидратации и взвешивании

полученного диоксида кремния. В качестве оборудования использовали электропечь сопротивления лабораторную SNOL 6.7/1300.

Для определения хрома применен титриметрический метод (ГОСТ 22536.7-88), который основан на окислении хрома (III) надсернокислым аммонием до хрома (VI) в сернокислой среде в присутствии азотнокислого серебра [175]. Хромовую кислоту восстанавливают раствором соли железа (II) и устанавливают конечную точку титрования потенциометрически. В качестве аппаратуры применяют два электрода: индикаторный (платиновый) и электрод сравнения (вольфрамовый), рН-метр.

Титриметрический метод также используют для определения марганца (ГОСТ 22536.5-87). Метод основан на окислении двухвалентного марганца в сернокислом растворе до семивалентного надсернокислого аммония в присутствии азотнокислого серебра. Полученную марганцовую кислоту оттитровывают раствором арсенит-нитрита натрия [175].

Исследования структуры стали 45 были выполнены на оптико-эмиссионном анализаторе (спектрометре) химического анализа Foundry-Master Smart.



Рис. 3.21. Foundry-Master Smart

Результаты данных исследований представлены ниже:

Результаты измерений							
Спектрометр	71Y0335	Spartanfire					
Образец	образец 2						
Alloy	FE_100	Режим	** Min. Adj.	Element Concentration		12.01.2022 05:53:31	
	Fe [%]	C [%] **	Si [%] **	Mn [%] **	P [%] **	S [%]	Cr [%] **
1	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---
3	98,5	0,505	0,241	0,610	0,0065	0,0108	0,0460
4	98,4	0,506	0,239	0,633	0,0066	0,0125	0,0453
Ø	98,4	0,505	0,240	0,621	0,0065	0,0120	0,0463
	Mo [%]	Ni [%] **	Al [%]	Co [%]	Cu [%]	Nb [%]	Ti [%]
1	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---
3	0,0031	0,0191	0,0173	<0,0013	0,0249	<0,0000	0,0014
4	<0,0029	0,0192	0,0176	<0,0018	0,0250	<0,0000	0,0018
Ø	0,0030	0,0191	0,0174	<0,0015	0,0249	<0,0000	0,0016
	V [%]	W [%]	Pb [%]	Sn [%]	B [%]	Ca [%]	Zr [%]
1	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---
3	0,0032	0,0193	0,0046	0,0041	<0,0002	0,0021	0,0061
4	0,0038	0,0190	0,0046	0,0045	<0,0002	0,0017	0,0061
Ø	0,0036	0,0191	0,0046	0,0043	<0,0002	0,0019	0,0056
	Zn [%]	Bi [%]	As [%]	Se [%]	Sb [%]		
1	---	---	---	---	---		
2	---	---	---	---	---		
3	<0,0011	<0,0000	0,0048	<0,0000	<0,0000		
4	<0,0012	<0,0000	0,0058	<0,0008	<0,0000		
Ø	<0,0011	<0,0000	0,0054	<0,0004	<0,0000		

Результаты измерений							
Спектрометр	71Y0335b	Spartanfire					
Образец	образец 1						
Alloy	FE_100	Режим	** Min. Adj.	Element Concentration		12.01.2022 09:58:39	
	Fe [%]	C [%] **	Si [%] **	Mn [%] **	P [%] **	S [%]	Cr [%] **
1	98,4	0,508	0,250	0,622	0,0096	0,0160	0,0472
2	98,4	0,513	0,251	0,619	0,0096	0,0131	0,0479
Ø	98,4	0,509	0,251	0,621	0,0093	0,0146	0,0475
	Mo [%]	Ni [%] **	Al [%]	Co [%]	Cu [%]	Nb [%]	Ti [%]
1	0,0057	0,0229	0,0193	<0,0019	0,0261	<0,0000	0,0020
2	0,0039	0,0216	0,0200	0,0024	0,0254	<0,0000	0,0022
Ø	0,0048	0,0222	0,0197	0,0022	0,0257	<0,0000	0,0021
	V [%]	W [%]	Pb [%]	Sn [%]	B [%]	Ca [%]	Zr [%]
1	0,0039	0,0284	0,0076	0,0048	<0,0000	0,0028	0,0066
2	0,0038	0,0332	0,0091	0,0041	<0,0000	0,0028	0,0066
Ø	0,0039	0,0308	0,0083	0,0044	0,0085	0,0028	0,0067
	Zn [%]	Bi [%]	As [%]	Se [%]	Sb [%]		
1	<0,0011	<0,0000	0,0061	<0,0010	<0,0000		
2	<0,0011	<0,0000	0,0067	<0,0000	<0,0000		
Ø	<0,0011	<0,0000	0,0064	<0,0005	<0,0000		

В соответствии с ГОСТ 1050-88 химический состав образцов принадлежит марке сталь 45 [175].

3.8. Стали и сплавы в машиностроении

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – основные металлические сплавы современной техники, строительства и машиностроения.

Сталь и чугун, являющиеся ведущими металлическими сплавами в современной технике, строительстве и машиностроении, представляют собой железоуглеродистые сплавы. Они образуют соединения железа с углеродом, при этом содержание углерода в чугуне превышает 2 %, а в стали оно составляет менее 2 %. В настоящее время все большее распространение получают сплавы на основе железа, содержащие очень незначительное количество углерода, тем не менее их называют сталями. Материалы, в которых содержание железа превышает 50 %, принято считать сталями или чугунами, а сплавами считаются материалы, содержащие менее 50 % железа [175].

3.9. Химический состав сталей

Углеродистые качественные стали принято маркировать двузначными цифрами (08, 10, 15, 20, ..., 60), которые обозначают содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-88). Так, сталь 45, применяемая для экспериментальных исследований, содержит 0,45 % углерода (рис. 3.22).

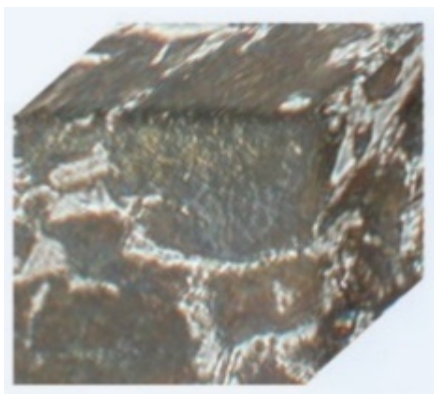


Рис. 3.22. Структура

Содержание марганца повышается по мере увеличения концентрации углерода от 0,25 до 0,80 %. Содержание азота ограничено до 0,008 % [175].

3.10. Деформирование поликристаллов

При деформировании металлов деформация зерен сопровождается изгибами и поворотами плоскостей скольжения [41]. До деформации порядка 1 % зерна деформируются малозаметно, однако при увеличении деформации зерна постепенно вытягиваются в направлении пластического течения, т. е. направления нагрузки (рис. 3.23).

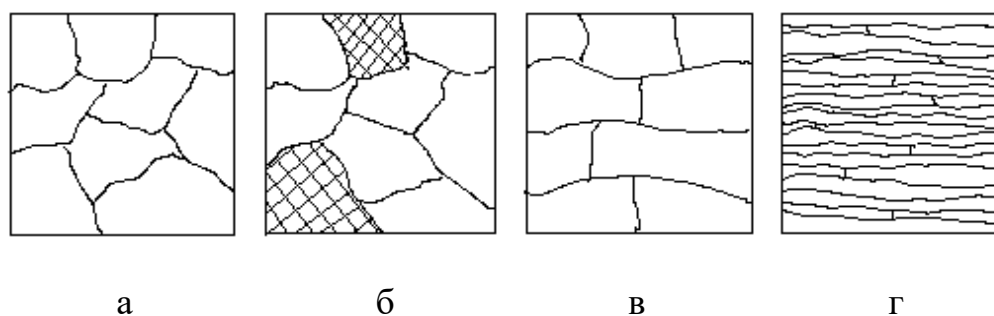


Рис. 3.23. Зернистость ε в процентах: а – 0; б – 1; в – 40; г – 80–90

При этом между направлением прокатки и направлением кристаллической решетки возникает угол 90° , поэтому текстура деформации делает металл анизотропным [175].

3.11. Методика металлографических исследований

Для исследований микроструктуры были предоставлены образцы, изготовленные из стали 45 (ГОСТ 1050-2013). Образцы предварительно были подвергнуты: 1) растяжению; 2) кручению в соответствии с методикой исследования. Образцы вырезали из центральной части изделия из участка, деформированного в процессе растяжения и кручения.

Для обеспечения плоской поверхности шлифа образец фиксировался в стальной оправке с помощью полиэфирной композиции. Шлифование и полирование образцов производили на шлифовальном станке MP-2B Grinder Polisher. Поверхностное травление шлифов осуществляли 3%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте с использованием метода протирки. Промывку

микрошлифов осуществляли в ванне с обезжиривателем. На рис. 3.24 представлен внешний вид подготовленных образцов.

Исследование микроструктуры металла проводили с помощью оптического микроскопа ZEISS Axio Observer. Выявлена микроструктура стали, содержащая смесь феррита и перлита.



Рис. 3.24. Внешний вид образца

Характерное строение перлита показано на рис. 3.25. Его содержание около 60 %. В металле наблюдается ориентированное расположение зерен, а именно вдоль направления деформации заготовки (рис. 3.26).

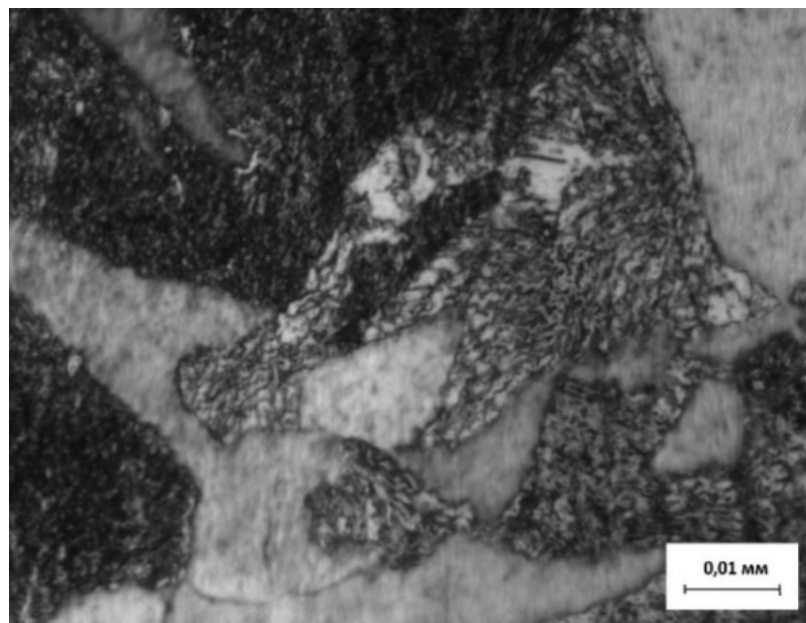


Рис. 3.25 Строение зерен перлита

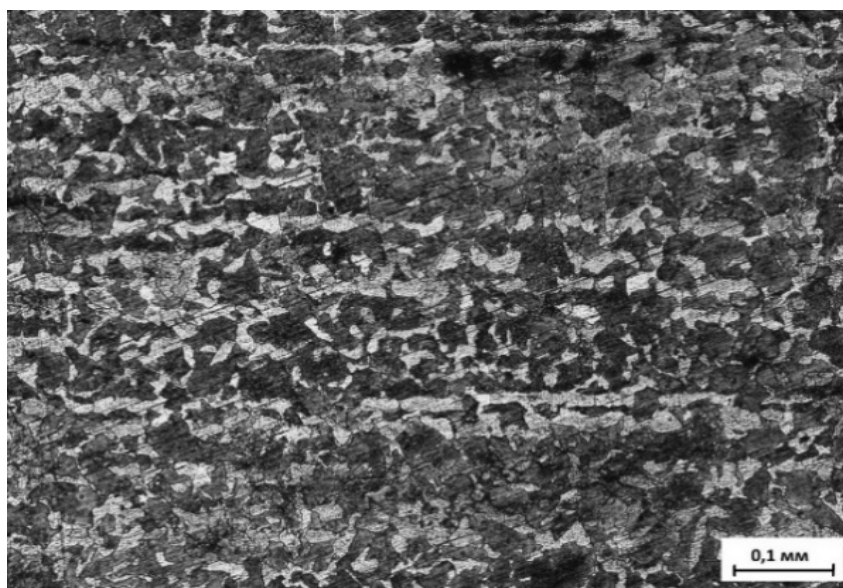


Рис. 3.26. Текстура стали

3.12. Методики изучения металлов, микроструктурный анализ сталей

Для исследования внутреннего строения (структуры) металлов и сплавов, а также их поверхности применяются разнообразные методы [175].

Локальность воздействия лазерного излучения используется в настоящее время в анализе металлов и сплавов. Обычно используемые атомно-эмиссионные спектрометры выполняют анализ химического состава пробы. Структура металла,

равномерности распределения элементов или их градиента исследуются с помощью других методов. Применяя лазер и некоторые средства автоматизации, касающиеся точного позиционирования анализируемой точки, измерения химического состава и анализа структуры образца можно объединить в одной операции. Используя короткофокусную систему фокусировки лазера, можно уменьшить пятно эрозии до 30 мкм и, наблюдая исследуемую поверхность с помощью встроенной камеры, задать точки, в которых нужно взять пробу, прямо с экрана компьютера. Это позволяет одновременно производить и микроструктурный анализ, и анализ включений, изучать природу точечной эрозии; получать данные о равномерности распределения заданных элементов. Локальность воздействия лазерного излучения дает возможность анализировать также отходы: стружку, металлическую пыль и т. д. Изучение строения металлов и сплавов в настоящей работе ведется с помощью широко известного метода – световой микроскопии. Данный метод часто называют металлографическим. Методом световой микроскопии исследуют размеры, форму, взаимное расположение кристаллов (зерен), весьма крупные включения в них, некоторые дефекты кристаллического строения (двойники, дислокации).

При анализе микроструктуры металлов используются специальные микроскопы, которые позволяют изучать микрошлифы. В таких микроскопах световой луч от источника проходит через объектив и окуляр, отражаясь от шлифа, что приводит к соответствующему увеличению изображения (рис. 3.27) [175].

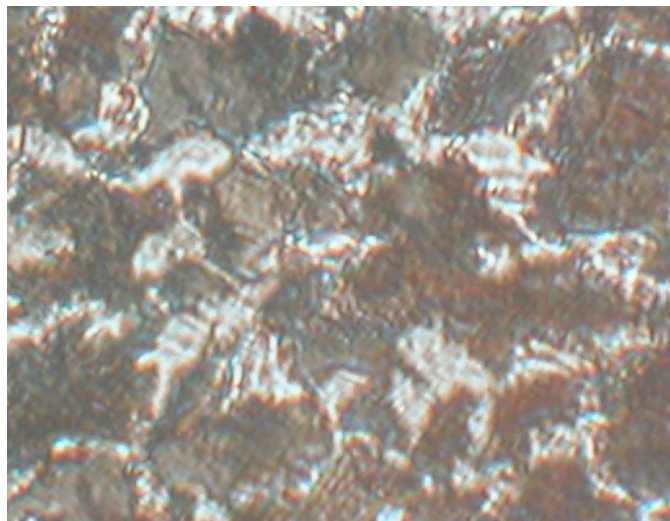


Рис. 3.27. Увеличенное изображение микроструктуры металла

Микроструктура металла оболочек исследовалась в цилиндрических образцах на участках с максимальной деформацией и в образцах, не подвергшихся деформации. Микроструктура металла на участках, не подвергшихся деформации, состоит из феррита и перлита (рис. 3.28). Полосчатость ферритно-перлитной структуры оценивается баллом 0–1 по ГОСТ 5640-2020.

При деформировании поликристаллов деформация зерен начинается сразу по нескольким системам скольжения и сопровождается изгибами и поворотами плоскостей скольжения. Пока общая деформация мала (порядка 1 %), зерна деформируются неоднородно в силу их разной ориентации по отношению к приложенным нагрузкам. Исходное состояние стали 45 ($\epsilon = 0$ %) представлено на рис. 3.28.

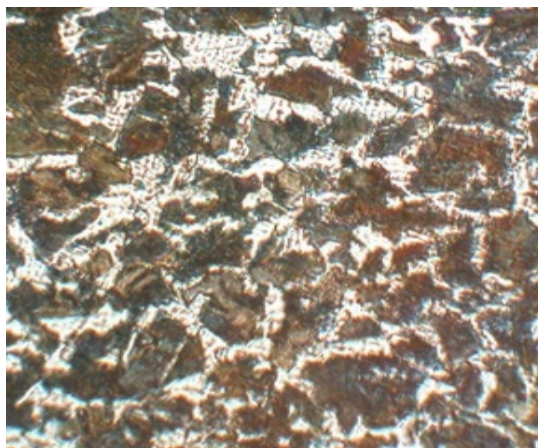


Рис. 3.28. Увеличенное изображение микроструктуры металла

На участках, подвергшихся деформации (см. рис. 3.28), в зависимости от вида нагружения, зерна металла вытянуты в большей или меньшей степени в направлении действия сил. Зерна потеряли свою равноосную форму и приняли продолговатую (для сжатия продолговато-изогнутую). Зерна, ориентированные до пластической деформации беспорядочно, при пластической деформации приобретают однородную ориентацию – полосчатость. Полосчатость ферритно-перлитной структуры оценивается баллом 2–3 по ГОСТ 5640-2020. По результатам исследования структуры материала стали 45 по программе SPECTR MET был проведен морфологический анализ на анизотропность материала, исследовались процент площади структуры, а также ориентация зерен в представительном объеме (рис. 3.29; см. рис. 3.24–3.28).

Форма отчета подготовлена программой SPECTR MET
МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Работа выполнена:
 Саврасов И.А.
 Образец: сталь 45

Дата:
 01.07.2022 15:42:13

Исследуемая характеристика (единицы измерения) –
 анизотропность

#	Диапазон	Количество	%
1	0,84 – 1,25	12	10,63
2	1,25 – 1,74	33	29,21
3	1,74 – 2,16	24	21,23
4	2,16 – 2,55	20	17,71
5	2,55 – 3,01	14	12,39
6	3,01 – 3,44	7	6,18
7	3,44 – 3,88	1	0,89
8	3,88 – 4,26	0	0,01
9	4,26 – 4,70	0	0,01
10	4,70 – 5,15	2	1,76

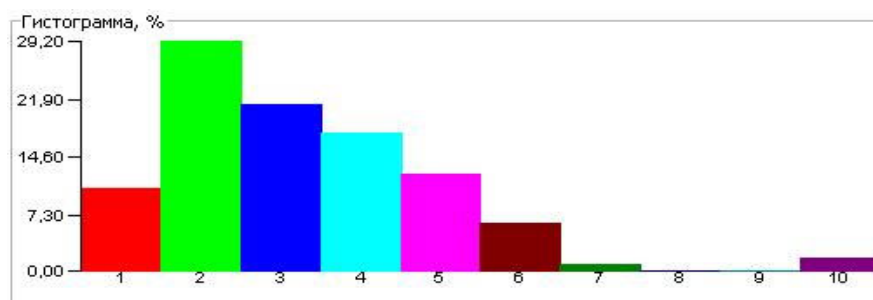
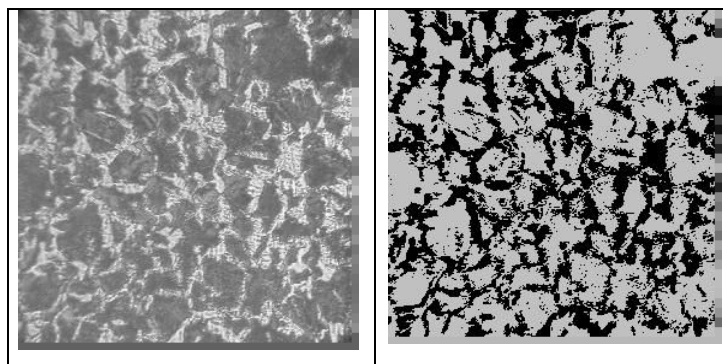


Рис. 3.29. Гистограмма в процентах



Суммарная площадь 78 866,94 (мкм*мкм)

Суммарная длина 1 690,13 (мкм)

Затем с ростом степени деформации зерна постепенно вытягиваются в направлении пластического течения (рис. 3.30, $\varepsilon = 5,5 \%$).

Форма отчета подготовлена программой SPECTR MET
МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Работа выполнена:
Саврасов И.А.
Образец: сталь 45

Дата:
01.07.2022 18:51:02

Исследуемая характеристика (единицы измерения) – *% площади*

#	Диапазон	Количество	%
1	0,00 – 5,49	111	89,00
2	5,49 – 10,97	0	0,00
3	10,97 – 16,46	0	0,00
4	16,46 – 21,94	0	0,00
5	21,94 – 27,43	0	0,00
6	27,40 – 32,87	0	0,00
7	32,91 – 38,40	0	0,00
8	38,40 – 43,88	0	0,00
9	43,88 – 49,37	0	0,00
10	49,37 – 54,85	2	1,10

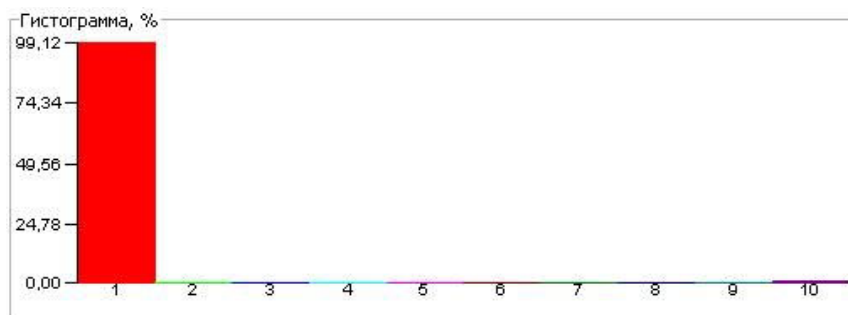
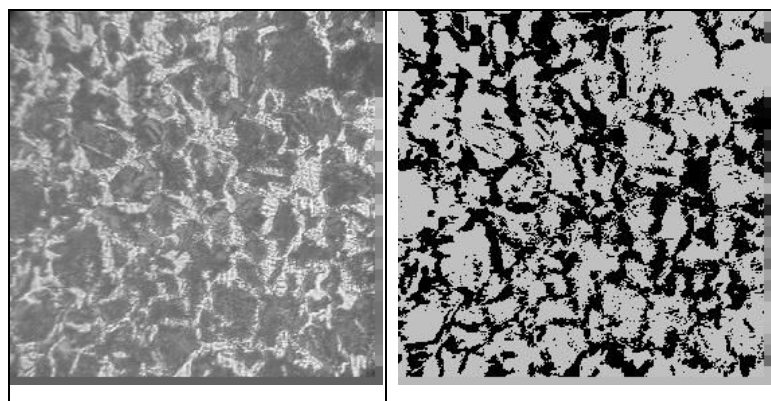


Рис. 3.30. Гистограмма в процентах



Суммарная площадь 78 866,94 (мкм*мкм)

Суммарная длина 1 690,13 (мкм)

Внутри самих зерен повышается пластичность дефектов, а при значительных деформациях ($\epsilon = 80\text{--}90\%$) образуется волокнистая структура, где границы зерен различаются с трудом. При значительной деформации в металле появляется кристаллографическая ориентация зерен, которая называется текстурой деформации. Текстура деформации – это результат одновременного деформирования зерен по нескольким системам скольжения. Она зависит от вида деформирования (сжатие с кручением, растяжение с кручением, внутреннее давление с растяжением, прокатка, волочение), кристаллической структуры металла, наличия примесей и условий деформирования.

В результате холодного пластического деформирования металл (рис. 3.31) приобретает деформационную анизотропию и упрочняется, изменяются его физические свойства. Свойства металла изменяются тем сильнее, чем больше степень деформации. Изменения микроструктуры, вызванные пластической деформацией, не могут не отразиться на физических свойствах металлов [28, 175].

Экспериментальные исследования демонстрируют, что перед наступлением пластической деформации происходят заметные изменения в механических свойствах материала. Когда пластическая деформация начинается, свойства продолжают изменяться, однако это происходит более плавно и постепенно.

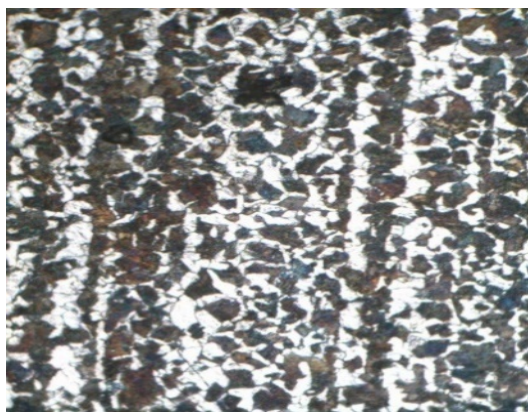


Рис. 3.31. Увеличенное изображение микроструктуры металла

Простым растяжением, сжатием или кручением, а также более сложными процессами, такими как прокатка, ковка или протяжка, можно вызвать пластическую деформацию металла. В каждом из этих случаев во время деформации и при обычных температурах механические характеристики металла

изменяются: предел текучести, предел прочности, твердость увеличиваются, а относительное удлинение и другие свойства уменьшаются (рис. 3.32).

Форма отчета подготовлена программой SPECTR MET
МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Работа проделана:
Саврасов И.А.
Образец: сталь 45

Дата:
01.07.2022 15:13:33

Исследуемая характеристика (единицы измерения) – *ориентация (градусы)*

#	Диапазон (градусы)	Количество	%
1	1,74 – 19,50	6	11,15
2	19,50 – 37,25	2	3,73
3	37,25 – 55,01	3	5,55
4	55,01 – 72,76	6	11,12
5	72,76 – 90,52	4	7,43
6	90,52 – 108,28	7	12,95
7	108,28 – 126,03	8	14,84
8	126,03 – 143,79	7	12,93
9	143,79 – 161,54	3	5,51
10	161,54 – 179,30	8	14,85

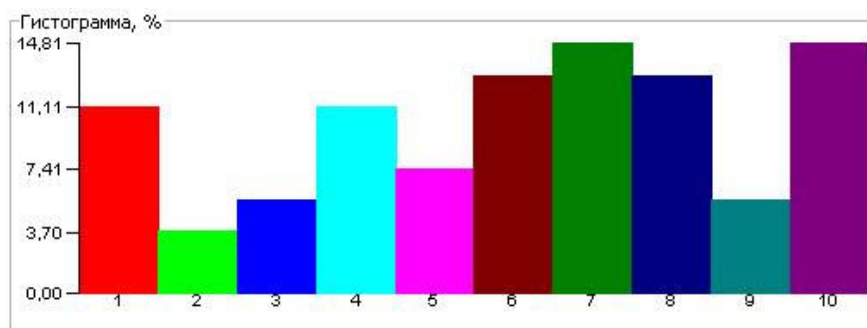
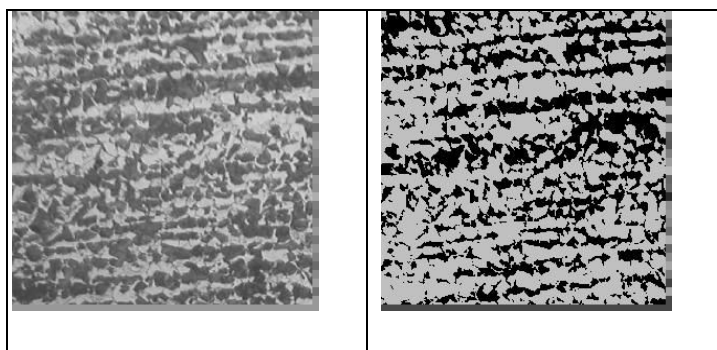


Рис. 3.32. Гистограмма в процентах



Суммарная площадь 56 845,73 (мкм*мкм)
Суммарная длина 11 20,29 (мкм)

По результатам структурного анализа было выявлено, что пластическая деформация приводит к двум основным изменениям в структуре: раздроблению зерен и их ориентации в определенном направлении. Первый уровень деформации способствует раздроблению зерна, а дальнейшая деформация образца – интенсивной ориентации зерен в одном направлении (см. рис. 3.32, растяжение). Измельчение структуры материала приводит к улучшению механических свойств металла [28, 175].

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНОГО НАГРУЖЕНИЯ СТАЛИ 45 И СПЛАВА В95 ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

4.1. Общие сведения

Все экспериментальные исследования выполнены на тонкостенных трубчатых образцах из различных материалов (стали 45 и сплава В95) с помощью автоматизированного расчетно-экспериментального комплекса СН-ЭВМ (рис. 4.1) в лаборатории механических испытаний кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности Тверского государственного технического университета.

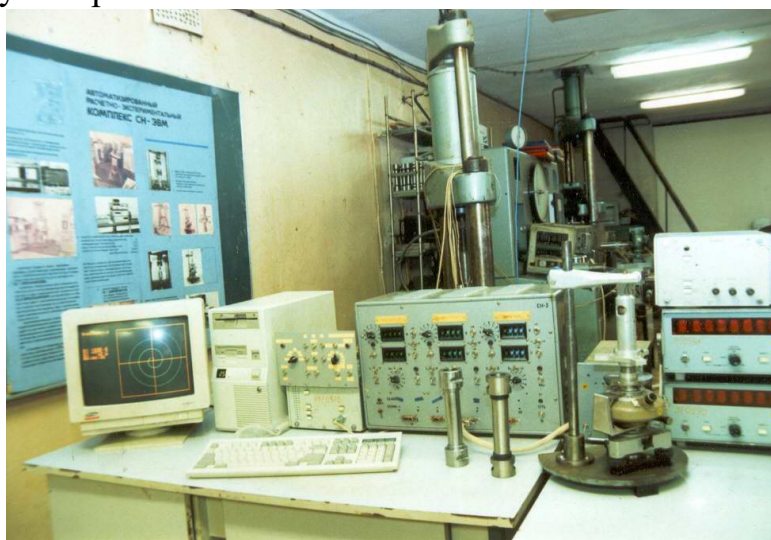


Рис. 4.1. Испытательный комплекс СН-ЭВМ

Параметры тонкостенных цилиндрических оболочек (как образцов из стали 45, так и из сплава В65): длина рабочей части $l = 110$ мм; толщина стенки $h = 1$ мм; радиус срединной поверхности $r = 15,5$ мм [166–176].

Программы нагружения трубчатых образцов задавались в девиаторном пространстве деформаций А.А. Ильюшина при одновременном комбинированном действии на образец растяжения-сжатия и кручения. В экспериментах реализовано четыре траектории деформирования, представляющие собой окружности, выходящие из начала координат [10, 11, 15–40].

Элементы конструкций и детали машин работают в условиях сложного (непропорционального) нагружения и деформирования и допускают в своей работе ограниченные пластические деформации. Поэтому проведение экспериментальных исследований механических свойств конструкционных материалов за пределом упругости и изучение закономерностей их поведения при сложном нагружении и разгрузении являются важными и актуальными задачами механики деформируемого твердого тела и теории пластичности. Одно из основных положений теории пластичности – постулат изотропии А.А. Ильюшина. В этом постулате утверждается «инвариантность связи векторов напряжений и деформаций относительно преобразований вращения и отражения в линейных координатных евклидовых пятимерных пространствах. Его сущность состоит в том, что при ортогональных преобразованиях вращения и отражения траекторий в векторном девиаторном пространстве с базисом А.А. Ильюшина образ процесса деформирования либо нагружения сохраняется, т. е. сохраняются скалярные и векторные свойства конструкционных материалов. Особый интерес при проверке постулата изотропии представляют траектории деформирования, на которых сложное (непропорциональное) нагружение реализуется с самого начала траектории» [173, с. 17].

Постулат изотропии А.А. Ильюшина [110–116] в качестве одного из основных положений теории пластичности был экспериментально проверен на различных конструкционных материалах с учетом разных траекторий деформирования и нагружения.

В статье [190, с. 18] отмечено, что «ортогональные нагружения вносят существенные поправки в зависимость между напряжениями и деформациями при пластическом деформировании. В связи с этим возникла идея о проверке

достоверности постулата изотропии на участках траекторий деформирования, ортогональных и неортогональных друг другу». Поэтому основной задачей в данной работе являлась проверка достоверности постулата изотропии А.А. Ильюшина на сложных криволинейных траекториях постоянной кривизны, получаемых при ортогональных преобразованиях вращения исходной траектории. Мы осуществили экспериментальную проверку деформирования стали 45 по ортогональным криволинейным траекториям постоянной кривизны (четыре эксперимента); сложного нагружения изотропного материала сталь 45 по траекториям деформирования в виде полуокружностей (четыре эксперимента); материала сталь 45 по гладкой криволинейной траектории деформирования; деформирования разносопротивляющегося сплава В95 по двузвенным ломаным траекториям (здесь были проведены три эксперимента (на простое пропорциональное нагружение при растяжении, сжатии и кручении)); сплава 65, находящегося в состоянии поставки, на плоских «треугольных траекториях».

В теории процессов А.А. Ильюшина связь между напряжениями и деформациями определяется скалярными и векторными свойствами материалов. Скалярные свойства материала отражены на диаграммах деформирования $\sigma - s$, где s – длина дуги траектории деформирования. Совмещенные диаграммы деформирования $\sigma - s$ будут представлены далее.

4.2. Диаграммы деформирования материала сталь 45

При обработке результатов экспериментальных данных для определения компонент ε_{ij} , σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) тензоров деформаций и напряжений использовались формулы [166]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\Delta r}{R}, \quad \varepsilon_{12} = \varphi \frac{r}{2l}, \quad \varepsilon_{33} = -(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + \frac{\sigma_0}{K}, \quad \varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{3K}, \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}, \\ \sigma_{11} = \frac{P}{2\pi r h}, \quad \sigma_{22} = p \frac{r}{h}, \quad \sigma_{12} = \frac{M}{2\pi r^2 h}, \quad \sigma_{33} \approx 0, \quad \sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22}), \end{aligned} \quad (4.1)$$

где Δl – абсолютное удлинение рабочей части образца; φ – угол взаимного поворота поперечных сечений; Δr – изменение радиуса срединной поверхности образца; σ_0 – среднее напряжение; ε_0 – средняя деформация; K – объемный модуль упругости; μ – коэффициент поперечной деформации Пуассона; E – модуль продольной упругости; P – осевая сила; p – внутреннее давление; M – крутящий момент.

Для стали 45 приняты $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$. Поскольку толщина стенки образцов намного меньше радиуса срединной поверхности ($h \ll r$), то напряженное состояние в точках образцов считалось однородным, плоским ($\sigma_{33} = \sigma_{32} = \sigma_{31} = 0$, $\varepsilon_{32} = \varepsilon_{31} = 0$). После появления пластических деформаций коэффициент поперечной деформации быстро возрастал и приближался к значению $\mu_p = 0,5$, поэтому при обработке экспериментальных данных использовалось условие несжимаемости ($\varepsilon_0 = 0$) (периодически (в других разделах) мы будем напоминать об этом). Материал образцов с достаточной степенью был начально изотропным, что установили в экспериментах при простых нагружениях (растяжении, сжатии, кручении и пропорциональном сжатии с кручением) (рис. 4.2) [170–183].

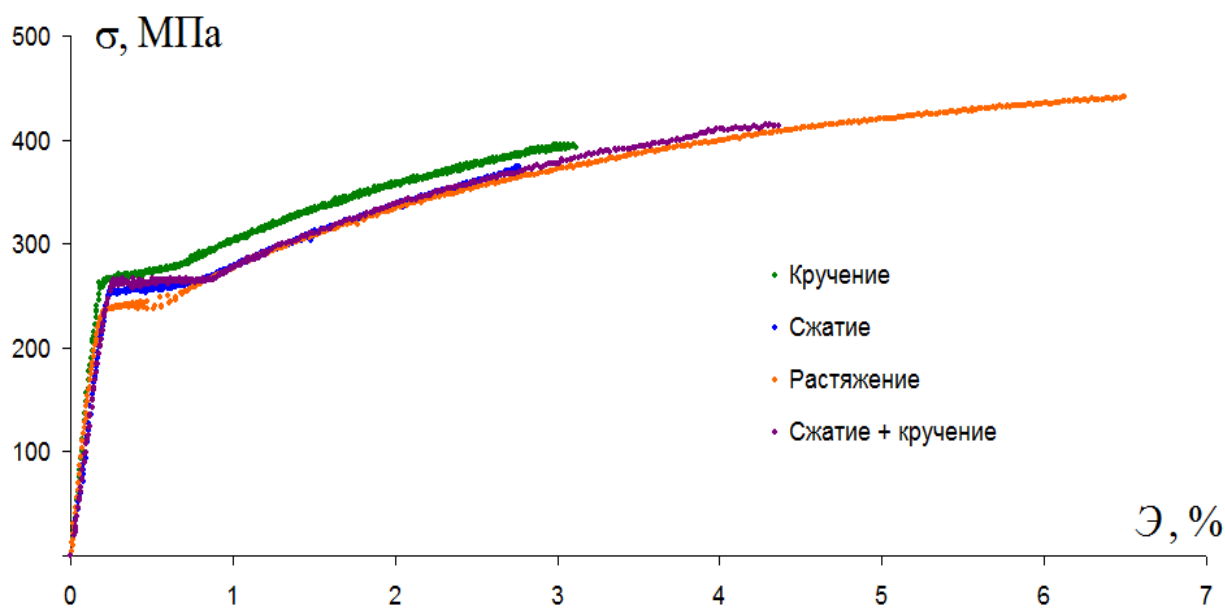


Рис. 4.2. Диаграммы деформирования $\sigma - \varepsilon$ при простых нагружениях

В случае векторного представления напряжений и деформаций по А.А. Ильюшину [1–3] девиаторам напряжений и деформаций ставятся в соответствие векторы напряжений и деформаций формоизменения:

$$\bar{\sigma} = S_k \hat{i}_k, \quad \bar{\varepsilon} = \mathcal{E}_k \hat{i}_k \quad (k=1,2,3), \quad (4.2)$$

где $\hat{i}_k$ – единичные векторы базиса А.А. Ильюшина.

Компоненты $S_k, \mathcal{E}_k$ ($k=1, 2, 3$) векторов напряжений и деформаций в девиаторном трехмерном пространстве А.А. Ильюшина рассчитывались по формулам:

$$\begin{aligned} S_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} S_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[\sigma_{11} - \frac{1}{2} (\sigma_{22} + \sigma_{33}) \right], \\ S_2 &= \sqrt{2} \left(S_{22} + \frac{1}{2} S_{11} \right) = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{33}}{\sqrt{2}}, \quad S_3 = \sqrt{2} S_{12} = \sqrt{2} \sigma_{12}, \\ \mathcal{E}_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} \mathcal{E}_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} (\varepsilon_{11} - \varepsilon_0), \quad \mathcal{E}_2 = \sqrt{2} \left(\mathcal{E}_{22} + \frac{1}{2} \mathcal{E}_{11} \right) = \frac{\varepsilon_{22} - \varepsilon_{33}}{\sqrt{2}}, \\ \mathcal{E}_3 &= \sqrt{2} \mathcal{E}_{12} = \sqrt{2} \varepsilon_{12}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

где

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_0, \quad \mathcal{E}_{ij} = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \varepsilon_0 - \quad (4.4)$$

компоненты девиаторов напряжений и деформаций соответственно; δ_{ij} – символ Кронекера.

Модули векторов напряжений и деформаций, равные модулям девиаторов напряжений и деформаций, определяются соотношениями:

$$\sigma = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}, \quad \varepsilon = \sqrt{\mathcal{E}_{ij} \mathcal{E}_{ij}} = \sqrt{\mathcal{E}_1^2 + \mathcal{E}_2^2 + \mathcal{E}_3^2}. \quad (4.5)$$

4.3. Экспериментальная проверка постулата изотропии

при деформировании стали 45

по ортогональным криволинейным траекториям постоянной кривизны

Программы деформирования реализовывались в девиаторной плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (это жесткое нагружение) при одновременном комбинированном действии

на образцы растяжения-сжатия и кручения. Все четыре траектории деформирования представлены на рис. 4.3. Исходная траектория деформирования (траектория 1, красный цвет) представляет собой окружность с радиусом $R = 0,75 \%$, выходящую из начала координат. По окружности сделан один полный оборот против хода часовой стрелки, заверченный в начале координат. Координаты центра окружности $\mathcal{E}_1^0 = 0$, $\mathcal{E}_3^0 = 0,75 \%$; ее кривизна $\kappa = 133,3$, $\kappa = 133.3$. Ортогональные преобразования исходной траектории осуществлялись вращением против часовой стрелки на 90° (см. траекторию 2 (синий цвет)), 180° (см. траекторию 3 (зеленый цвет)) и 270° (см. траекторию 4 (фиолетовый цвет)). При этом все четыре траектории являются кососимметричными по отношению друг к другу.

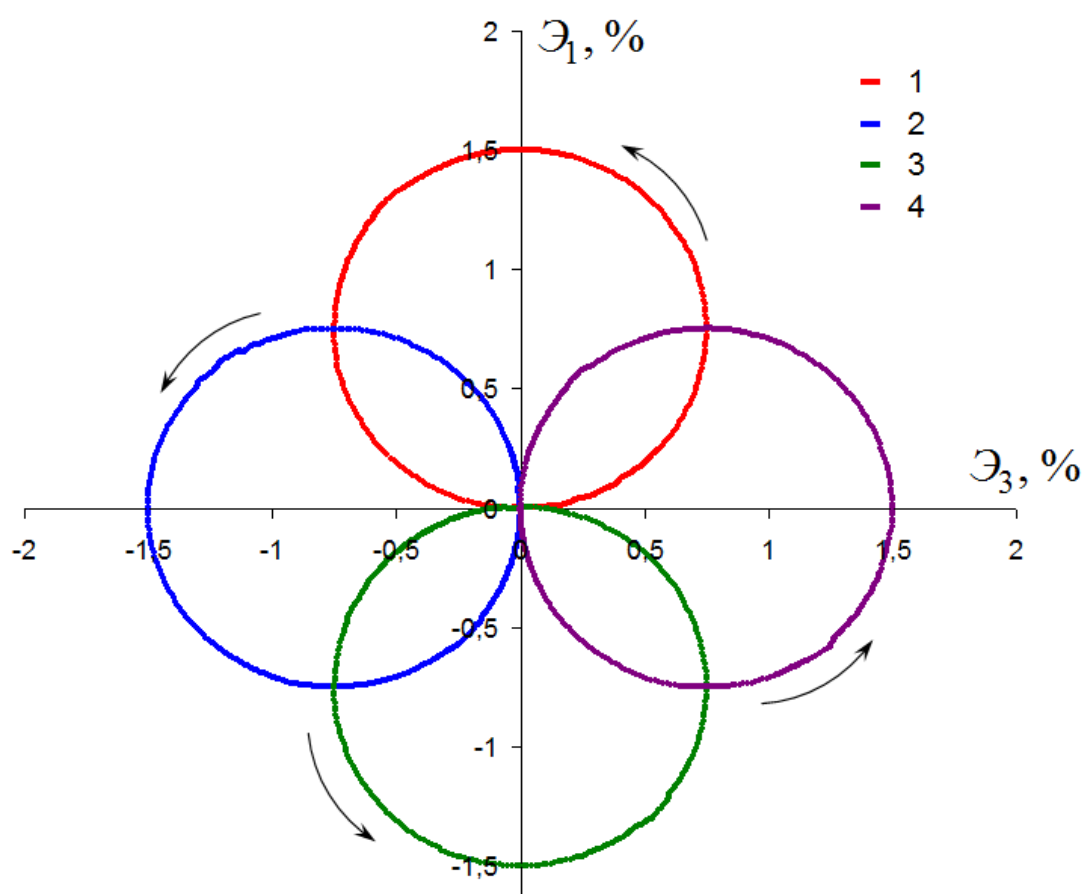


Рис. 4.3. Траектории деформирования на плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$

На рис. 4.4 показан отклик по напряжениям на плоскости $S_1 - S_3$. Видно, что траектории напряжений также ортогональны друг другу.

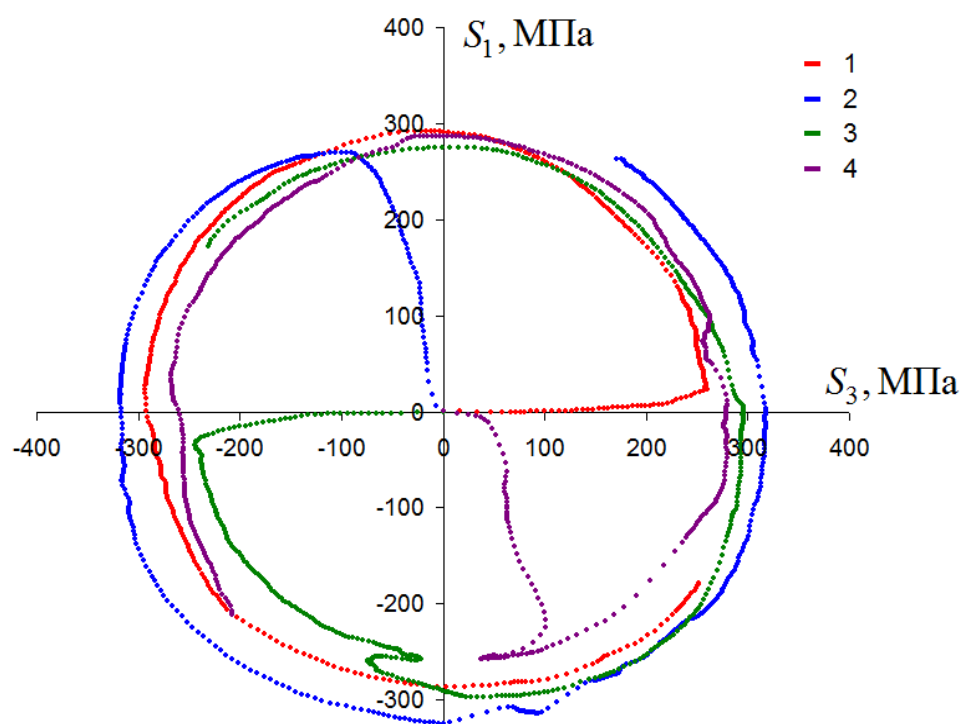


Рис. 4.4. Отклик по напряжениям на плоскости $S_1 - S_3$

На рис. 4.5 представлены совмещенные диаграммы $\sigma - s$ для всех четырех экспериментов. Видно, что все линии на данном рисунке практически совпадают. Следовательно, можно сделать вывод: для данной серии испытаний постулат изотропии по скалярным свойствам выполняется.

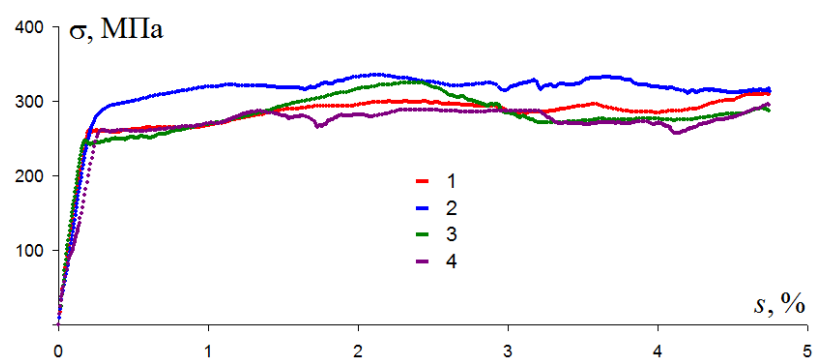


Рис. 4.5. Диаграмма деформирования $\sigma - s$

На рис. 4.6, 4.7 приведены локальные диаграммы деформирования растяжения-сжатия по компонентам $S_1 - \mathcal{E}_1$ и чистого сдвига по компонентам

$S_3 - \mathcal{E}_3$. Видно, что диаграммы для траекторий 1 и 3, а также 2 и 4 являются кососимметричными.

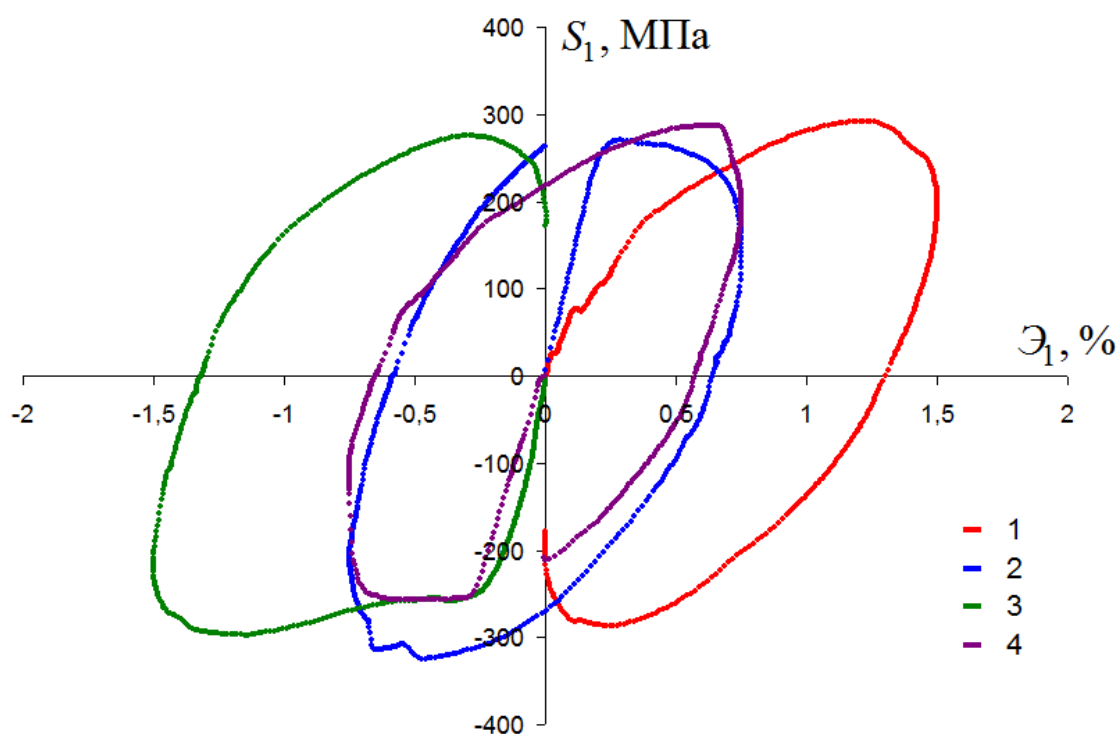


Рис. 4.6. Локальная диаграмма деформирования $S_1 - \mathcal{E}_1$

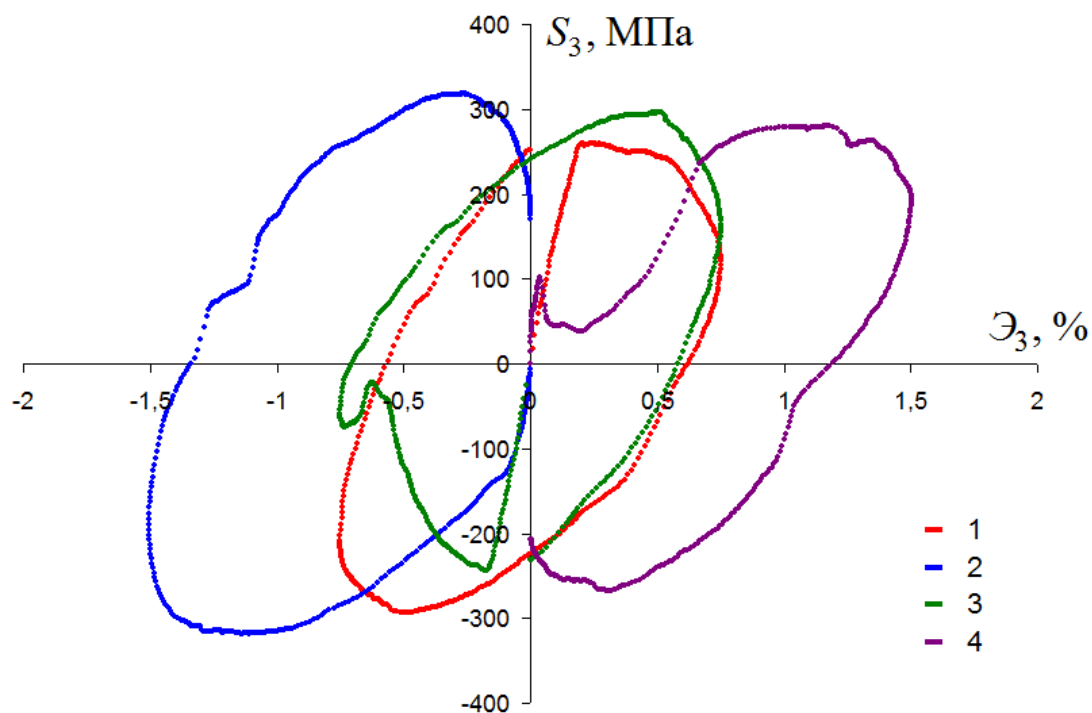


Рис. 4.7. Локальная диаграмма деформирования $S_3 - \mathcal{E}_3$

На рис. 4.8 представлены совмещенные диаграммы $\vartheta_1 - s$, дающие представление о векторных свойствах материала; ϑ_1 – угол, который характеризует отклонение вектора напряжений $\bar{\sigma}$ от касательной к траектории деформирования в каждой ее точке. Этот угол, называемый углом сближения, отражает влияние векторных свойств материала на процесс деформирования. При обработке экспериментальных данных для определения ϑ_1 использовали выражение

$$\cos \vartheta_1 = \frac{1}{\sigma} \left(S_1 \frac{(\vartheta_3 - \vartheta_3^0)}{R} - S_3 \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_1^0)}{R} \right), \quad (4.6)$$

где $\vartheta_1^0, \vartheta_3^0$ – координаты центров окружностей.

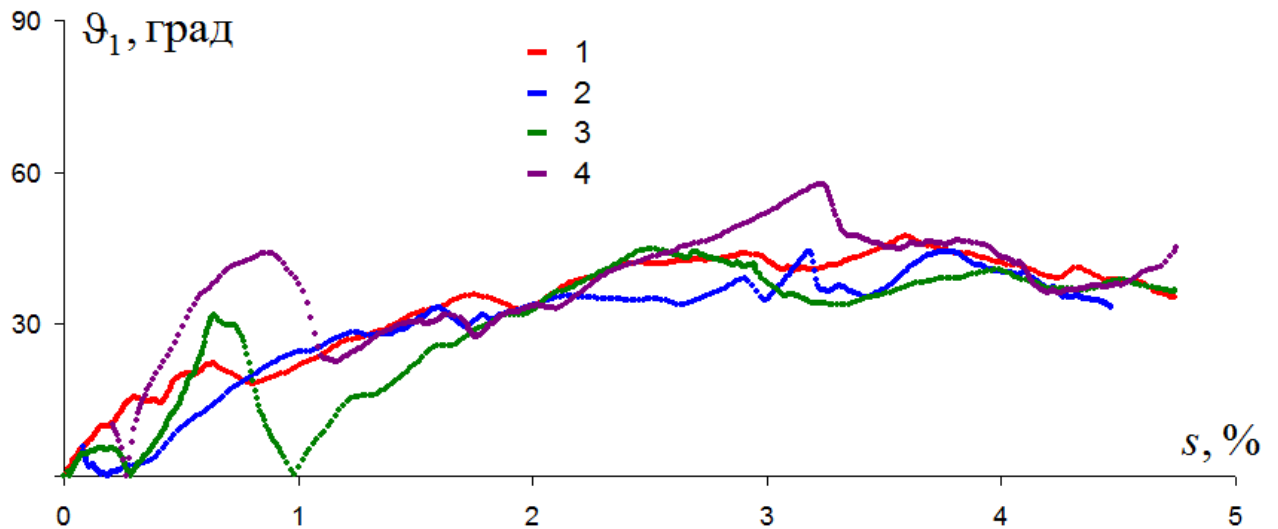


Рис. 4.8. Диаграмма $\vartheta_1 - s$

Экспериментально выявлено [169]: при деформировании по окружностям устанавливается стационарный режим деформирования с практически постоянным значением угла сближения ($\vartheta_1^* \approx \text{const}$). Это (т. е. постоянство угла сближения) также наблюдается в представленной в данном разделе серии экспериментов, причем после стабилизации $\vartheta_1^* \approx 40^\circ$. Поскольку в проведенных нами опытах угол $\vartheta_1 < 90^\circ$, то процессы деформирования по всем четырем траекториям были

активными (без разгрузок). Видно также, что все диаграммы на рис. 4.8 близки, а значит, можно сделать вывод о том, что для данной серии экспериментов постулат изотропии выполняется и по векторным свойствам.

Таким образом, в данном разделе была рассмотрена серия из четырех экспериментов, в ходе которых изучили упругопластическое деформирование материала сталь 45 по ортогональным криволинейным траекториям деформирования в виде окружностей, выходящих из начала координат, со смещенным центром. Были исследованы скалярные и векторные свойства материала сталь 45. Установлено, что для реализованных сложных траекторий постоянной кривизны изотропного материала (стали 45) постулат изотропии выполняется достаточно точно как по скалярным, так и по векторным свойствам.

4.4. Проверка постулата изотропии А.А. Ильюшина при сложном нагружении изотропного стали 45 по траекториям деформирования в виде полуокружностей

В разделе представлены итоги экспериментальной проверки постулата изотропии А.А. Ильюшина в условиях сложного упругопластического деформирования тонкостенных трубчатых образцов, выполненных из материала сталь 45, по траекториям в виде полуокружностей (жесткое, или кинематическое, нагружение). Приведены результаты четырех экспериментов, в которых были реализованы траектории деформирования в виде полуокружностей с постоянной кривизной, равной 133,3 [166–176].

При обработке результатов экспериментальных данных для определения компонент ε_{ij} , σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) тензоров деформаций и напряжений использовались формулы, о которых речь шла в разделе 4.2:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\Delta r}{R}, \quad \varepsilon_{12} = \varphi \frac{r}{2l}, \quad \varepsilon_{33} = -(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + \frac{\sigma_0}{K}, \quad \varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{3K}, \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}, \\ \sigma_{11} = \frac{P}{2\pi r h}, \quad \sigma_{22} = p \frac{r}{h}, \quad \sigma_{12} = \frac{M}{2\pi r^2 h}, \quad \sigma_{33} \approx 0, \quad \sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22}). \end{aligned} \quad (4.7)$$

где Δl – абсолютное удлинение рабочей части образца; φ – угол взаимного закручивания поперечных сечений; Δr – изменение радиуса срединной поверхности образца; σ_0 – среднее напряжение; ε_0 – средняя деформация; K – объемный модуль упругости; μ – коэффициент поперечной деформации Пуассона; E – модуль Юнга; P – осевая сила; p – внутреннее давление; M – крутящий момент.

Для стали 45, о чем было сказано в разделе 4.2, приняты $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0.3$. Как мы указывали в том же разделе, $\sigma_{33} = \sigma_{32} = \sigma_{31} = 0$, $\varepsilon_{32} = \varepsilon_{31} = 0$, т. е. напряженное состояние в точках образцов считали однородным, плоским, так как толщина стенки образцов намного меньше радиуса срединной поверхности $h \ll r$, и при обработке экспериментальных данных применили условие несжимаемости материала, а именно равенство нулю объемной и средней деформации ($\varepsilon_0 = 0$), поскольку после появления пластических деформаций коэффициент поперечной деформации быстро возрастал и был близок к значению $\mu_p = 0,5$. В экспериментах при простых нагружениях (растяжении, сжатии, кручении, пропорциональном сжатии с кручением) на образцах из той же партии было выявлено, что материал образцов в достаточной степени был начально изотропным.

Реализованные экспериментальные исследования базировались на векторном представлении напряжений и деформаций по А.А. Ильюшину, изложенном в его теории упругопластических процессов [121–128]. В рамках этой теории (скажем об этом еще раз в силу важности данного момента) девиаторам напряжений и деформаций ставятся в соответствие векторы напряжений и деформаций формоизменения:

$$\bar{\sigma} = S_k \hat{i}_k, \quad \bar{\varepsilon} = \mathcal{E}_k \hat{i}_k \quad (k=1,2,3), \quad (4.8)$$

где $\hat{i}_k$ – единичные векторы базиса А.А. Ильюшина (см. также формулы (4.2)).

Координаты векторов напряжений и деформаций $S_k, \mathcal{E}_k$ ($k=1,2,3$) в девиаторном трехмерном пространстве А.А. Ильюшина находили по формулам:

$$\begin{aligned}
S_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} S_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[\sigma_{11} - \frac{1}{2} (\sigma_{22} + \sigma_{33}) \right], \\
S_2 &= \sqrt{2} \left(S_{22} + \frac{1}{2} S_{11} \right) = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{33}}{\sqrt{2}}, \quad S_3 = \sqrt{2} S_{12} = \sqrt{2} \sigma_{12}, \\
\mathcal{E}_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} \mathcal{E}_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} (\varepsilon_{11} - \varepsilon_0), \quad \mathcal{E}_2 = \sqrt{2} \left(\mathcal{E}_{22} + \frac{1}{2} \mathcal{E}_{11} \right) = \frac{\varepsilon_{22} - \varepsilon_{33}}{\sqrt{2}}, \\
\mathcal{E}_3 &= \sqrt{2} \mathcal{E}_{12} = \sqrt{2} \varepsilon_{12},
\end{aligned} \tag{4.9}$$

где

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_0, \quad \mathcal{E}_{ij} = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \varepsilon_0 \tag{4.10}$$

компоненты девиаторов напряжений и деформаций соответственно; δ_{ij} – символ Кронекера (эти формулы представлены также в разделе 4.2).

Модули векторов напряжений и деформаций и равные им модули девиаторов напряжений и деформаций определяются соотношениями (см. также выражения (4.5)):

$$\sigma = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}, \quad \mathcal{E} = \sqrt{\mathcal{E}_{ij} \mathcal{E}_{ij}} = \sqrt{\mathcal{E}_1^2 + \mathcal{E}_2^2 + \mathcal{E}_3^2}. \tag{4.11}$$

Программы деформирования реализовывались в девиаторной плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (жесткое, или кинематическое, нагружение) при одновременном комбинированном действии на образец растяжения-сжатия и кручения. Координата вектора деформаций $\mathcal{E}_1$ соответствует нагружению образца осевой силой, а координата $\mathcal{E}_3$ – крутящим моментом. Исходная траектория деформирования (траектория 1) представляет собой полуокружность с радиусом $R = 0,75 \%$, выходящую из начала координат. Координаты центра полуокружности $\mathcal{E}_1^0 = 0$, $\mathcal{E}_3^0 = 0,75 \%$, а кривизна траектории $\kappa = 133,3$. В процессе деформирования по данной траектории значение $\mathcal{E}_1$ непропорционально возрастает до $1,5 \%$ (растяжение), а значение $\mathcal{E}_3$ (кручение) сначала непропорционально увеличивается до $0,75 \%$, а затем (после четверти окружности) убывает до нуля. Ортогональные преобразования траектории 1 осуществлялись ее вращением по ходу часовой стрелки на 90° , 180° и 270° (это траектории деформирования 2, 3 и 4 соответственно). Все четыре реализованные программы экспериментов показаны на рис. 4.9.

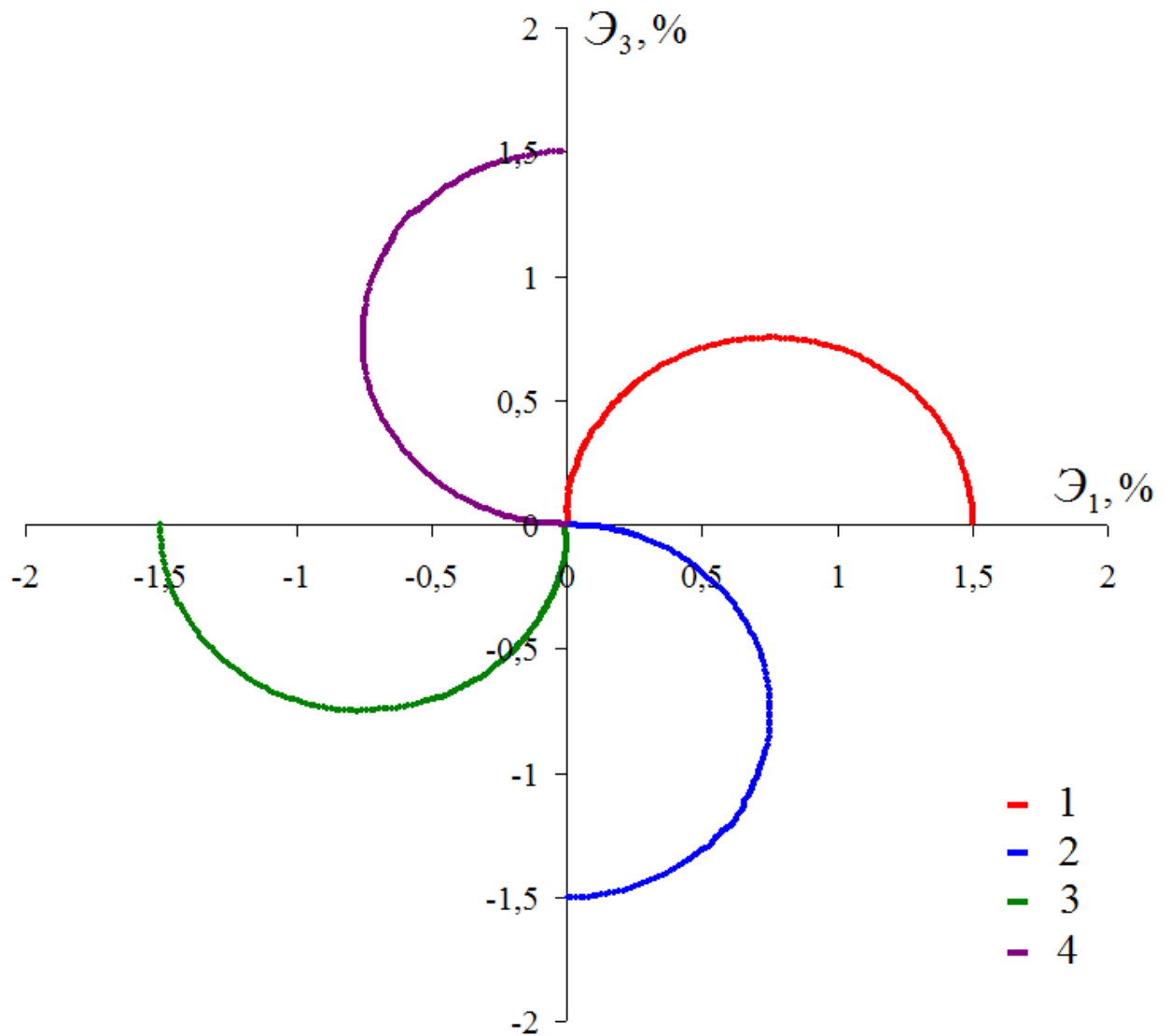


Рис. 4.9. Программы эксперимента в плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$

На рис. 4.10–4.14 представлены совмещенные результаты испытаний тонкостенных трубчатых образцов по программам 1–4 (ниже раскроем подробнее содержание некоторых рисунков).

На рис. 4.10 показаны, помимо всего прочего, отклики на реализованные траектории деформирования по напряжениям на плоскости $S_1 - S_3$, т. е. траектории напряжений. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что траектории напряжений также ортогональны друг другу.

На рис. 4.11 приведены совмещенные $\sigma - s$ диаграммы для всех четырех экспериментов. Видно, что экспериментальные данные для всех траекторий на

рис. 4.11 практически совпадают, а значит, можно сделать вывод: в данной серии испытаний постулат изотропии по скалярным свойствам выполняется.

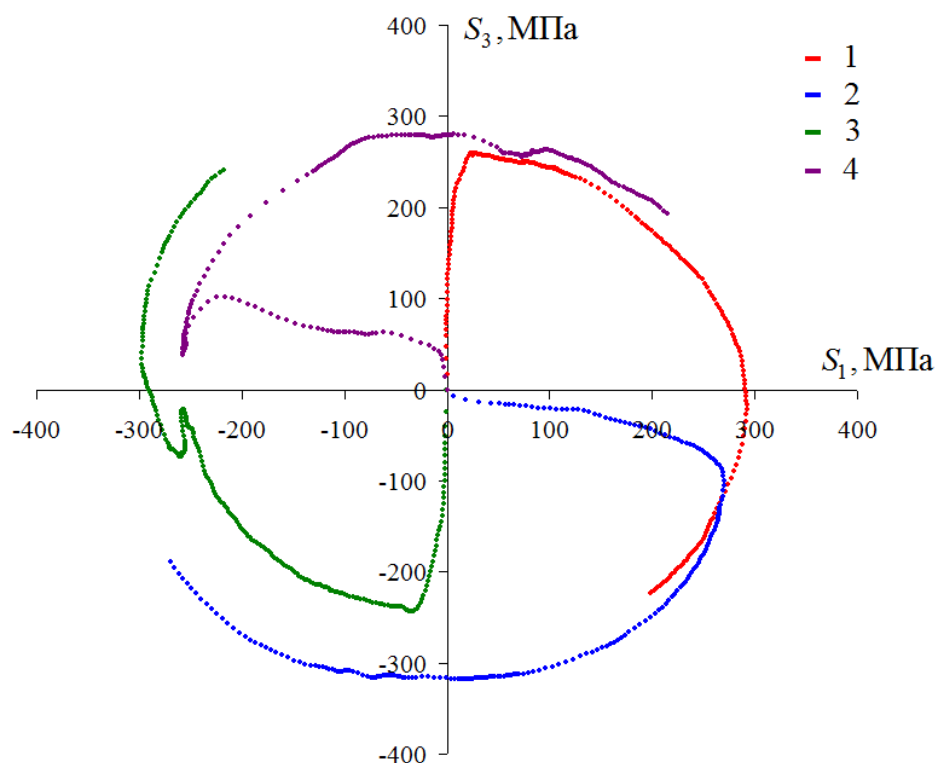


Рис. 4.10. Траектории напряжений на плоскости $S_1 - S_3$

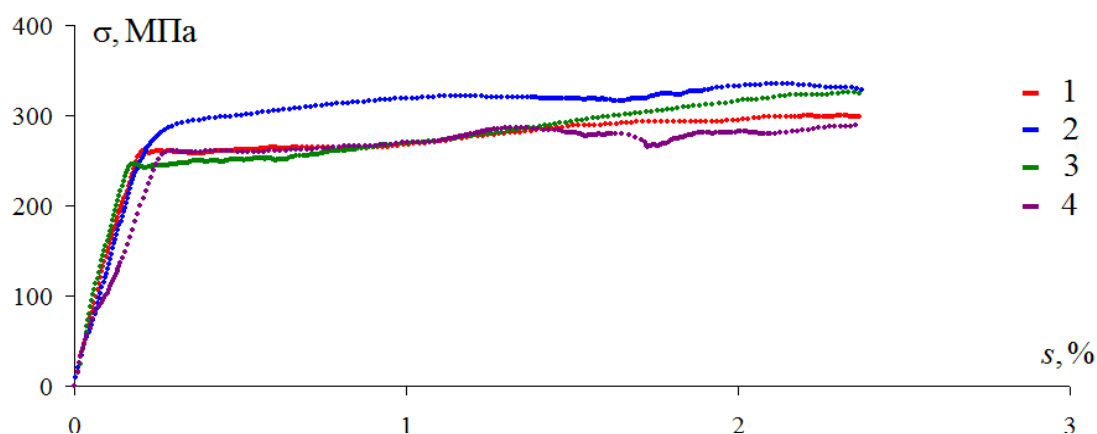


Рис. 4.11. Глобальная диаграмма деформирования $\sigma - s$

На рис. 4.12, 4.13 даны локальные диаграммы деформирования растяжения-сжатия по компонентам $S_1 - \mathcal{E}_1$ и чистого сдвига по компонентам $S_3 - \mathcal{E}_3$ соответственно. Как мы видим, диаграммы для траекторий 1 и 3, а также 2 и 4 являются кососимметричными.

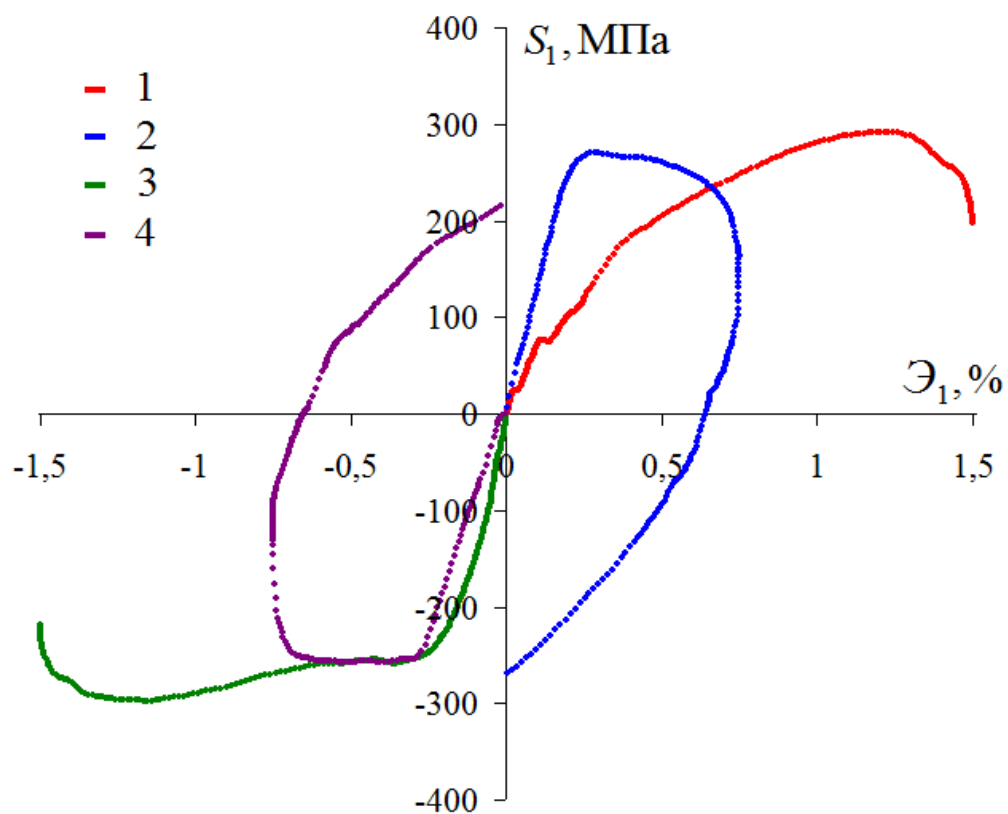


Рис. 4.12. Локальная диаграмма деформирования $S_1 - E_1$

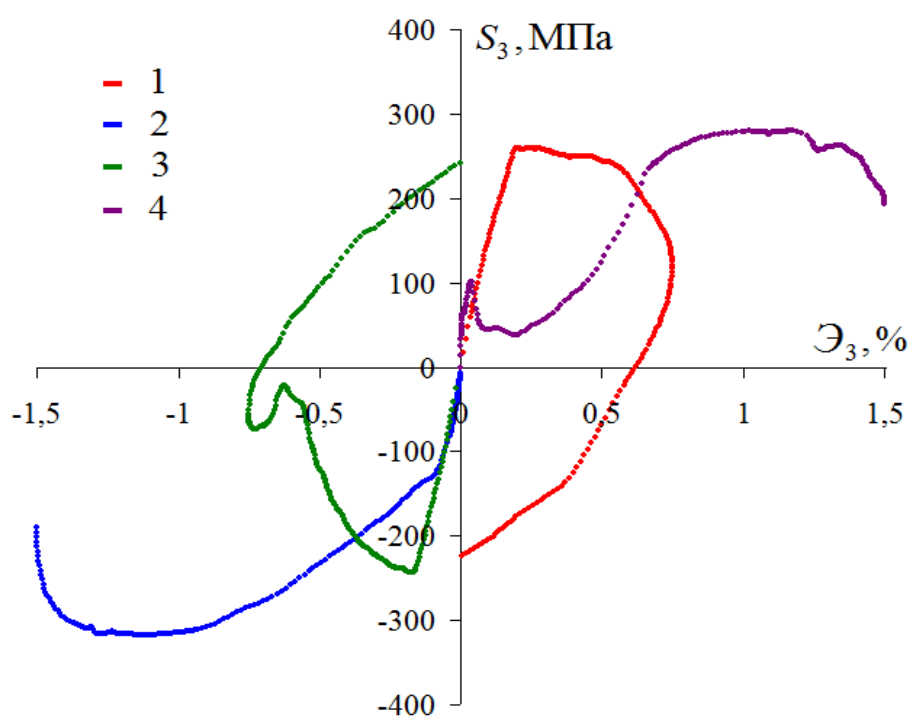


Рис. 4.13. Локальная диаграмма деформирования $S_3 - E_3$

На рис. 4.14 представлены диаграммы $E_1 - s$, характеризующие векторные свойства материала (как мы помним, E_1 – угол между вектором напряжений $\bar{\sigma}$ и

касательной к траектории деформирования в каждой ее точке). Этот угол называется углом сближения и отражает влияние векторных свойств материала на процесс деформирования. При обработке экспериментальных данных для определения ϑ_1 применяли выражение

$$\cos \vartheta_1 = \frac{1}{\sigma} \left(S_1 \frac{(\vartheta_3 - \vartheta_3^0)}{R} - S_3 \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_1^0)}{R} \right), \quad (4.12)$$

где $\vartheta_1^0, \vartheta_3^0$ – координаты центров полуокружностей (как мы видим, выражение похоже на формулу (4.6), но с иной экспликацией).

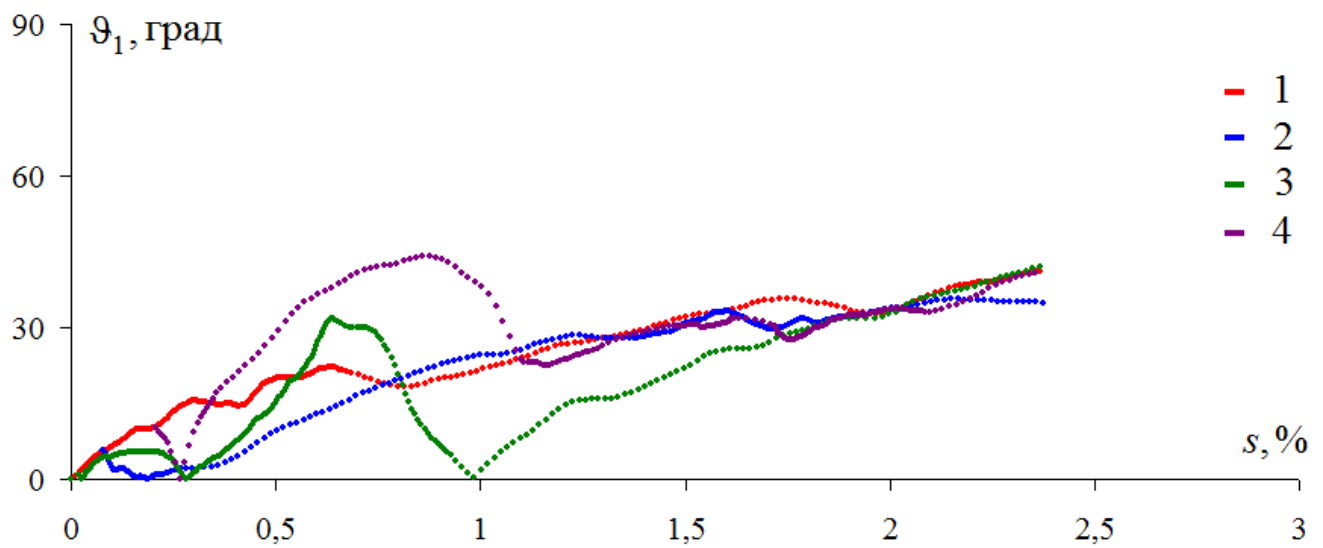


Рис. 4.14. Диаграмма $\vartheta_1 - s$

Экспериментально установлено [3], что при деформировании по окружным траекториям наступает стационарный режим деформирования с практически постоянным значением угла сближения ($\vartheta_1^* \approx \text{const}$). Это (постоянство угла) также подтверждается в данной серии экспериментов, причем после стабилизации $\vartheta_1^* \approx 30^\circ$. Поскольку в проведенных опытах углы сближения $\vartheta_1 < 90^\circ$, то процессы деформирования по всем четырем траекториям были активными (без сложных разгрузок). На начальном этапе деформирования (при $\Delta s < 1,5 \%$) наблюдалось некоторое различие на диаграммах (см. рис. 4.14), однако после стабилизации процесса деформирования ($\Delta s > 1,5 \%$) все диаграммы стали близки (см. рис. 4.14).

Следовательно, можно сделать вывод: для данной серии экспериментов постулат изотропии выполняется и по векторным свойствам.

Данная серия из четырех экспериментов, посвященных изучению упругопластического деформирования материала сталь 45 по ортогональным криволинейным траекториям деформирования в виде полуокружностей, выходящих из начала координат, со смещенным центром может быть использована при разработке и верификации математических моделей теории пластичности, оценке ресурса и надежности элементов конструкций.

Таким образом, были исследованы скалярные и векторные свойства материала сталь 45. Установлено, что для реализованных сложных траекторий постоянной кривизны постулат изотропии выполняется достаточно точно как по скалярным, так и по векторным свойствам этой стали.

4.5. Экспериментальное исследование изотропного материала сталь 45 по гладкой криволинейной траектории деформирования

Проведение экспериментальных исследований сложных траекторий деформирования открывает большие возможности для оценки достоверности и границ применимости математических моделей теории пластичности. Результаты экспериментальных исследований деформирования поликристаллических металлов и сплавов при сложном нагружении и варианты моделей теории пластичности представлены в [10–40, 70–74, 76–79] и других работах. Особенно интересны криволинейные траектории деформирования с участками средней и большой кривизны, содержащие окружности [84–90, 95, 96] или спирали Архимеда [95, 96].

Экспериментальные результаты изучения изотропного материала сталь 45 по гладкой криволинейной траектории деформирования представлены в векторном представлении напряжений и деформаций по А.А. Ильюшину [110–116]. Программа эксперимента реализована в девиаторном пространстве деформаций $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (жесткое, или кинематическое, нагружение) при совместном действии на

образцы осевой силы и крутящего момента. Процесс нагружения считали монотонным изотермическим, а деформации – малыми.

Реализованная траектория деформирования представлена на рис. 4.15. На этом и прочих рисунках цифрами 1–8 обозначены точки начала соответствующих полуокружностей. Указанная траектория представляет собой выходящие из начала координат восемь последовательных полуокружностей с радиусом $R = 0,25 \%$ и кривизной ± 400 . Тонкостенный трубчатый образец подвергался комбинированному растяжению по $\mathcal{E}_1$ от нуля до $\mathcal{E}_1^* = 4\%$ и знакопеременному кручению по $\mathcal{E}_3$. Реализованная траектория деформирования, согласно терминологии А.А. Ильюшина, является гладкой, так как в местах перехода ее участков отсутствуют точки излома, но изменяется знак кривизны.

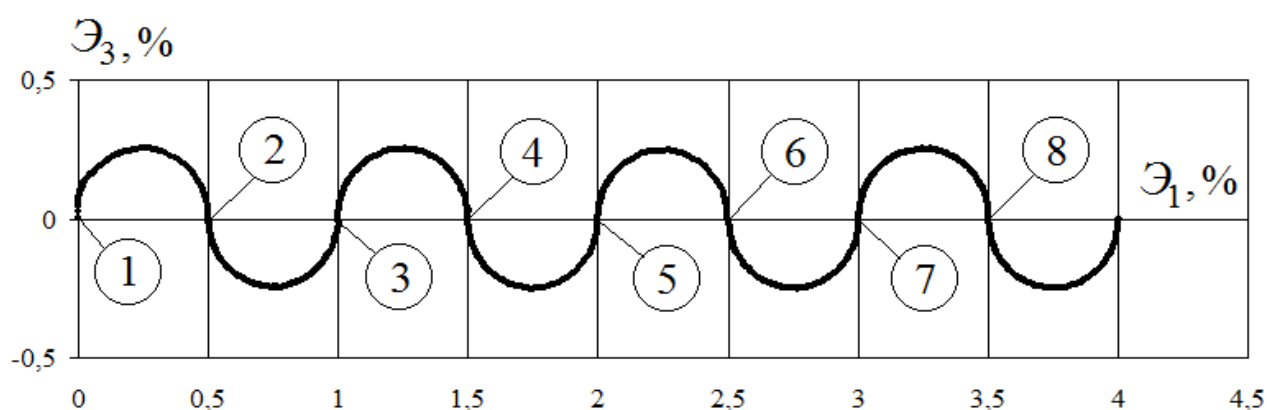


Рис. 4.15. Траектория деформирования на плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$

Начальная изотропия материала сталь 45 подтвердилась в базовых опытах при простом пропорциональном нагружении (растяжении, сжатии и кручении). Во время обработки результатов экспериментальных данных для определения компонент тензоров деформаций ε_{ij} и напряжений σ_{ij} использовались формулы:

$$\begin{cases} \varepsilon_{11} = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\Delta r}{r}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{r\psi}{2l}, \quad \varepsilon_{13} = \varepsilon_{23} = 0, \\ \varepsilon_{33} = -(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + \frac{\sigma_0}{K}, \quad \varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}), \end{cases} \quad (4.13)$$

$$\begin{cases} \sigma_{11} = \frac{P}{2\pi r h}, \quad \sigma_{22} = q \frac{r}{h}, \quad \sigma_{12} = \frac{M}{2\pi r^2 h}, \quad \sigma_{33} \approx 0, \quad \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0, \\ \sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}), \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}, \end{cases} \quad (4.14)$$

где Δl и Δr – приращения l и r ; ψ – угол поворота поперечного сечения; P – растягивающая осевая сила; q – внутреннее давление; M – крутящий момент; E – модуль продольной упругости; μ – коэффициент Пуассона; K – объемный модуль упругости.

При анализе экспериментальных данных принималось условие несжимаемости ($\varepsilon_0 = 0$), достаточно точное вне упругой области, так как μ довольно быстро стремился к значению 0,5.

Координаты векторов деформаций и напряжений формоизменения определяли через компоненты тензоров по формулам:

$$\begin{aligned} S_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} S_{11} = \sqrt{\frac{3}{2}} (\sigma_{11} - \sigma_0), \quad S_3 = \sqrt{2} S_{12} = \sqrt{2} \sigma_{12}, \\ \mathcal{E}_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} \mathcal{E}_{11} = \sqrt{\frac{3}{2}} (\varepsilon_{11} - \varepsilon_0), \quad \mathcal{E}_3 = \sqrt{2} \mathcal{E}_{12} = \sqrt{2} \varepsilon_{12}, \end{aligned} \quad (4.15)$$

где $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, S_{ij}, \mathcal{E}_{ij}$ ($i, j = 1, 2, 3$) – компоненты тензоров и тензоров-девиаторов напряжений и деформаций соответственно; $\sigma_0 = \sigma_{ii} / 3$, $\varepsilon_0 = \varepsilon_{ii} / 3$ – средние напряжение и деформация соответственно.

Модули векторов напряжений и деформаций, равные модулям девиаторов напряжений и деформаций, находили по формулам:

$$\sigma = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} = \sqrt{S_1^2 + S_3^2}, \quad \mathcal{E} = \sqrt{\mathcal{E}_{ij} \mathcal{E}_{ij}} = \sqrt{\mathcal{E}_1^2 + \mathcal{E}_3^2}. \quad (4.16)$$

При обработке результатов экспериментальных данных для определения угла отклонения $\mathcal{E}_1$ вектора напряжений от касательной к траектории деформирования использовали выражение

$$\cos \vartheta_1 = \frac{1}{\sigma} \left(\pm S_1 \frac{(\vartheta_3 - \vartheta_3^0)}{R} \mp S_3 \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_1^0)}{R} \right), \quad (4.17)$$

где $\vartheta_1^0, \vartheta_3^0$ – координаты центра кривизны полуокружности.

На рис. 4.16 представлен отклик в пространстве напряжений $S_1 - S_3$. На рис. 4.17 приведена глобальная диаграмма деформирования $\sigma - \vartheta$, а на рис. 4.18 – диаграмма прослеживания процесса деформирования $\sigma - s$, характеризующая векторные свойства материала. Причем на рис. 4.18 и 4.19 дополнительно показаны данные эксперимента при простом растяжении (выделены красным цветом для сравнения с реализованной сложной траекторией деформирования). Из рис. 4.18 видно, что диаграмма простого растяжения (красного цвета) располагается значительно выше диаграммы сложного нагружения. Очевиден колебательный характер зависимости $\sigma - s$, которая не может быть принята за универсальную зависимость $\sigma = \Phi(s)$.

На рис. 4.19, 4.20 даны локальные диаграммы деформирования растяжения-сжатия по компонентам $S_1 - \vartheta_1$ и чистого сдвига по компонентам $S_3 - \vartheta_3$. На рис. 4.21 представлена диаграмма зависимости $\vartheta_1 - s$, отражающая векторные свойства материала.

Как видно из экспериментальных результатов, графики на рисунках имеют колебательный характер. Локальная диаграмма деформирования $S_1 - \vartheta_1$ (рис. 4.19) по сравнению с диаграммой, иллюстрирующей чистое растяжение, расположена ниже и практически касается последней в экстремальных точках на каждой из полуокружностей. Локальная диаграмма деформирования $S_3 - \vartheta_3$ (рис. 4.20) имеет вид, характерный для диаграмм знакопеременного нагружения-разгрузки.

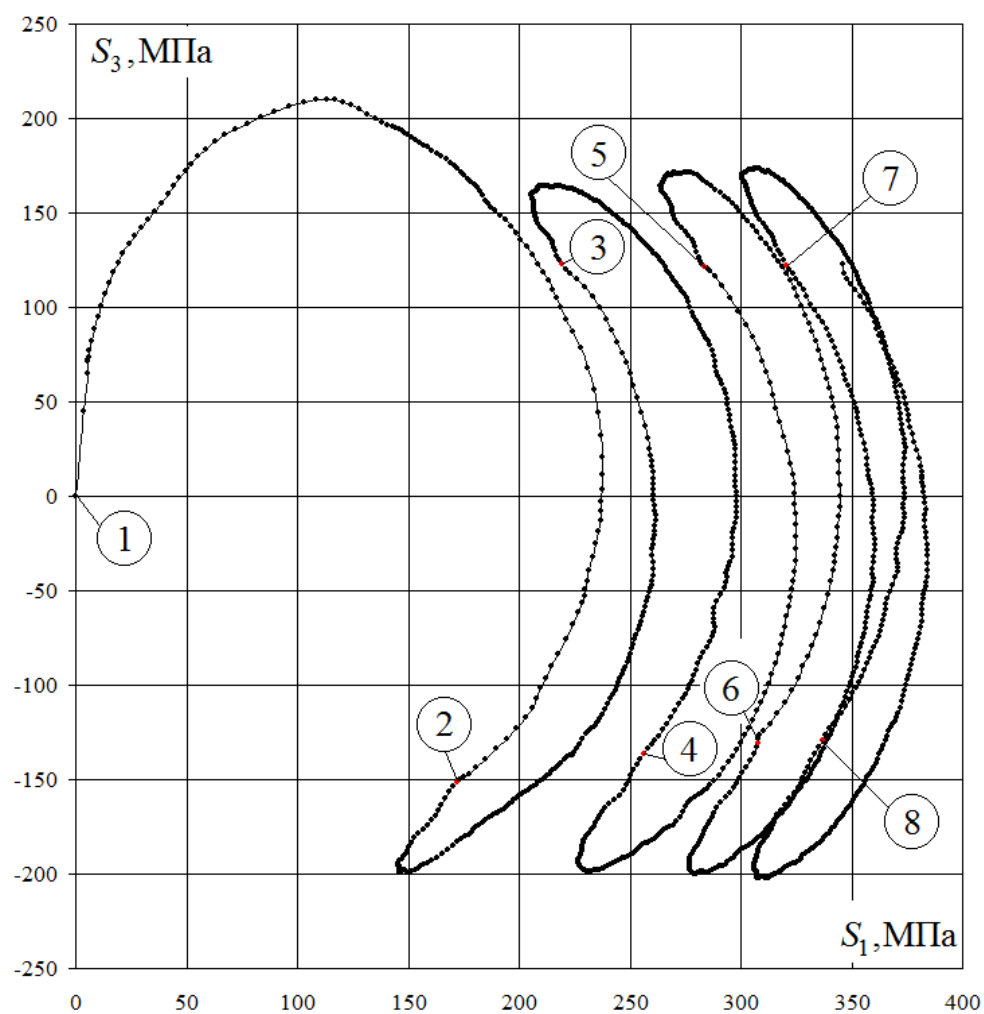


Рис. 4.16. Отклик по напряжениям на плоскости $S_1 - S_3$

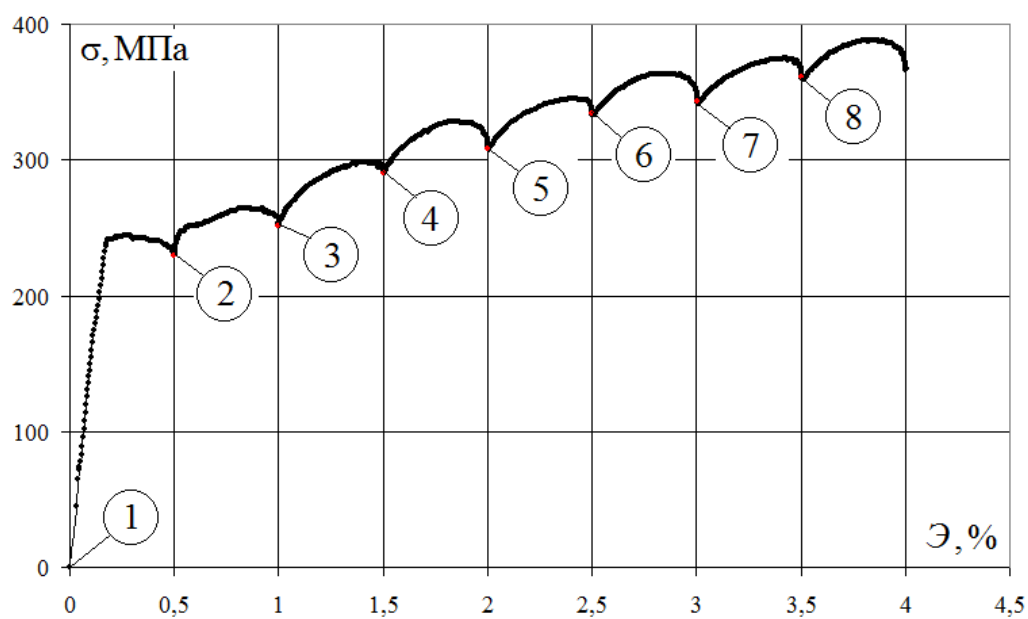


Рис. 4.17. Диаграмма деформирования $\sigma - \epsilon$

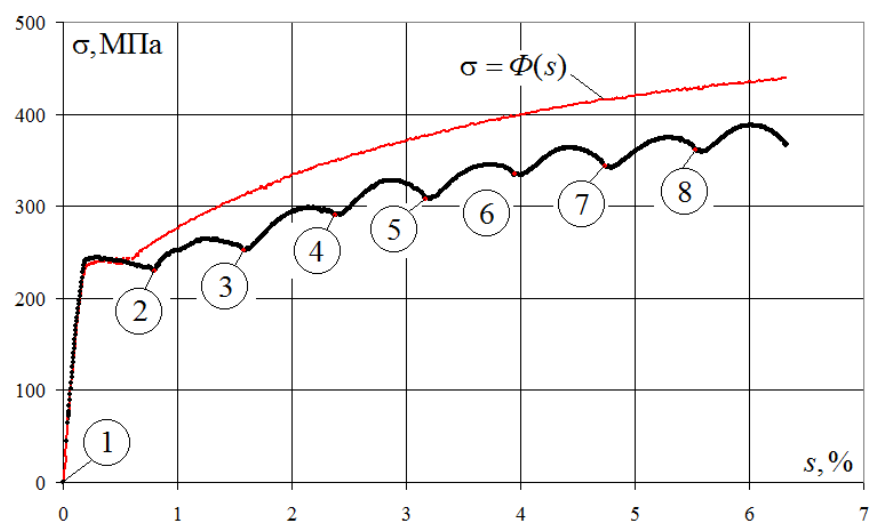


Рис. 4.18. Диаграмма деформирования $\sigma - s$

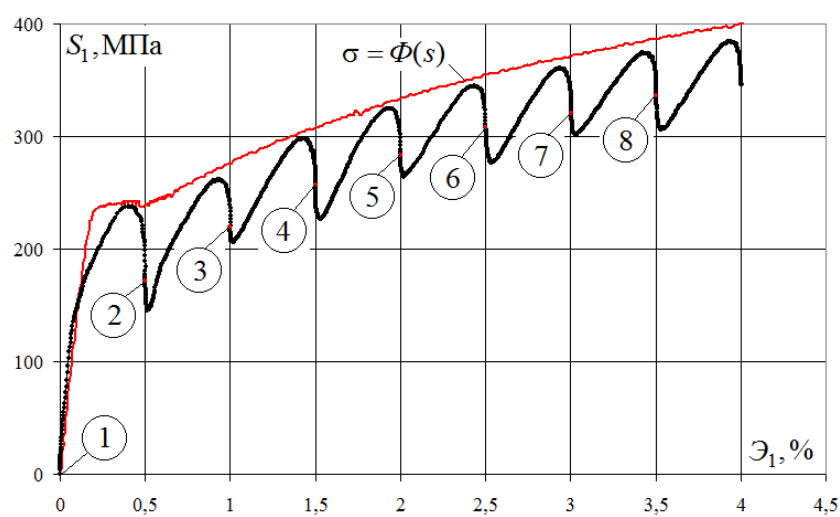


Рис. 4.19. Локальная диаграмма деформирования $S_1 - \varepsilon_1$

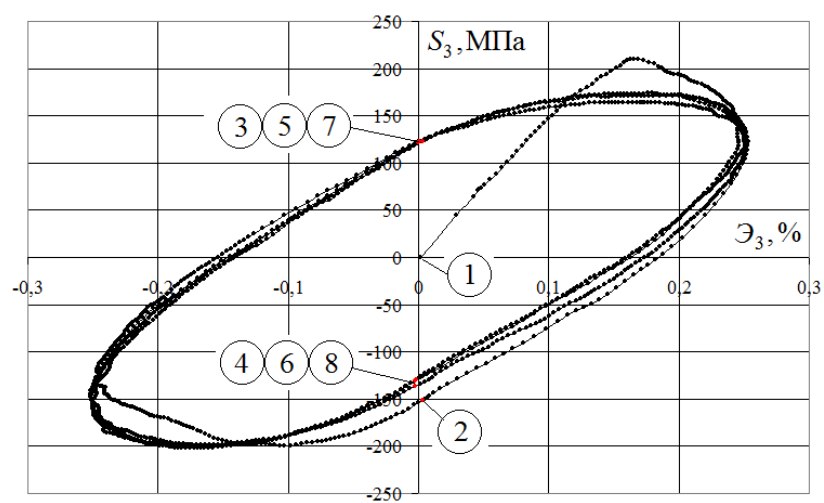


Рис. 4.20. Локальная диаграмма деформирования $S_3 - \varepsilon_3$

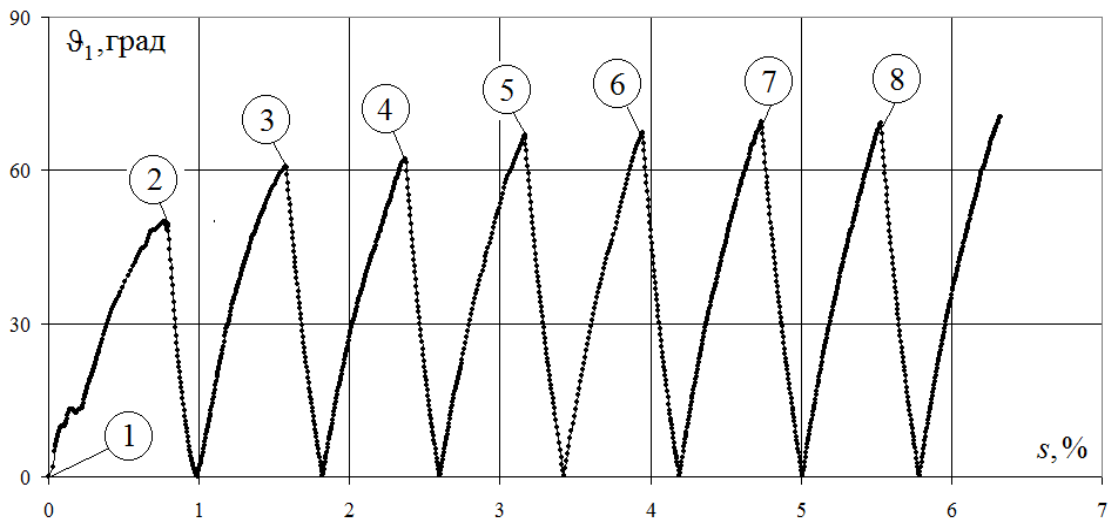


Рис. 4.21. Диаграмма $\Theta_1 - s$

Ранее было экспериментально установлено [76, 97], что изменение кривизны траектории деформирования на диаграмме $\sigma - s$ дает эффект, равносильный наличию угла излома траектории с образованием «нырка» напряжений. В данных опытах наблюдался похожий эффект. Зависимости на рис. 4.18 показывают, что на первой половине каждого участка (при увеличении $\mathcal{E}_3$ по модулю) значение σ возрастает, а на второй (при уменьшении $\mathcal{E}_3$ до нуля) значение σ снижается. Таким образом, при смене знака кривизны величина σ сначала повышается, а затем плавно убывает, причем уменьшение величины σ по сравнению с наибольшим значением на данном участке не превышает 7 %.

Экспериментально выявлено [97, 76], что при деформировании по окружным траекториям постоянной кривизны устанавливается стационарный режим деформирования с практически постоянным значением угла сближения ($\Theta_1^* \approx \text{const}$). Из рис. 4.21 видно, что при смене знака кривизны стационарный режим не возникает, а диаграмма $\Theta_1 - s$ имеет колебательный характер. Со второй полуокружности угол Θ_1 сначала убывает до нуля, а затем начинает увеличиваться, причем с ростом s значение Θ_1 повышается. В данной серии опытов было получено максимальное значение ($\Theta_1 \approx 70^\circ$). Поскольку на протяжении всего эксперимента

$\vartheta_1 < 90^\circ$, то процесс деформирования по данной сложной траектории был активным (без сложной разгрузки).

Таким образом, были получены экспериментальные данные о сложном упругопластическом деформировании материала сталь 45 по криволинейной траектории деформирования постоянной кривизны, в которой на каждом участке изменялся знак кривизны и смещался ее центр. Установлено, что экспериментальные диаграммы $\sigma - s$ и $\vartheta_1 - s$ имеют колебательный характер. При этом со второго участка на каждом участке величина σ сначала возрастала, а затем плавно убывала, а величина ϑ_1 сначала падала до нуля, а затем начала увеличиваться. Результаты экспериментального исследования будут использованы при аттестации и верификации существующих математических моделей теории пластичности и установлении границ их применимости.

4.6. Экспериментальная проверка постулата изотропии при деформировании разносопротивляющегося сплава В95 по двузвенным ломаным траекториям

Материалы по-разному сопротивляются даже при простых (пропорциональных) процессах нагружения и имеют явно различающиеся кривые пластического деформирования при осевом растяжении, сжатии и кручении [138, 161]. При построении математических моделей теории пластичности необходимо учитывать такую чувствительность материала к виду напряженного состояния [5]. В данном разделе изложены итоги проверки достоверности постулата изотропии А.А. Ильюшина для алюминиевого сплава В95 на плоских прямолинейных двузвенных ломаных траекториях деформирования. Сплав В95 – это алюминиевый деформируемый высокопрочный сплав (а именно дюралюминий), который относится к системе Al-Zn-Cu-Mg и широко используется в современной авиационной и ракетной технике [177].

Поскольку, как и в других случаях, толщина стенки образцов намного меньше радиуса срединной поверхности ($h \ll r$), то напряженное состояние в

точках образцов считалось однородным, плоским ($\sigma_{33} = \sigma_{32} = \sigma_{31} = 0$, $\varepsilon_{32} = \varepsilon_{31} = 0$).
 . Материал полагали однородным, но в процессе упругопластического деформирования в нем может возникать деформационная анизотропия. Во время анализа результатов экспериментальных данных с целью определения компонент тензоров деформаций ε_{ij} и напряжений σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) использовали формулы:

$$\begin{cases} \varepsilon_{11} = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\Delta r}{r}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{r\psi}{2l}, \\ \sigma_{11} = \frac{P}{2\pi rh}, \quad \sigma_{22} = q \frac{r}{h}, \quad \sigma_{12} = \frac{M}{2\pi r^2 h}, \end{cases} \quad (4.18)$$

где Δl и Δr – приращения l и r ; ψ – угол поворота поперечного сечения; P – растягивающая осевая сила; q – внутреннее давление; M – крутящий момент.

При применении векторного представления напряжений и деформаций по А.А. Ильюшину [110–117] девиаторам напряжений и деформаций ставятся в соответствие векторы напряжений и деформаций формоизменения:

$$\bar{\sigma} = S_k \hat{i}_k, \quad \bar{\varepsilon} = \mathcal{E}_k \hat{i}_k \quad (k=1,2,3), \quad (4.19)$$

где $\hat{i}_k$ – единичные векторы базиса А.А. Ильюшина (см. также формулы (4.2)).

При обработке экспериментальных данных принималось условие несжимаемости материала; в расчетах для координат $S_k, \mathcal{E}_k$ ($k=1,2,3$) векторов деформаций и напряжений формоизменения использовали формулы:

$$\begin{aligned} S_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} S_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[\sigma_{11} - \frac{1}{2} \sigma_{22} \right], \\ S_2 &= \sqrt{2} \left(S_{22} + \frac{1}{2} S_{11} \right) = \frac{\sigma_{22}}{\sqrt{2}}, \quad S_3 = \sqrt{2} S_{12} = \sqrt{2} \sigma_{12}, \\ \mathcal{E}_1 &= \sqrt{\frac{3}{2}} \mathcal{E}_{11} = \sqrt{\frac{3}{2}} \varepsilon_{11}, \quad \mathcal{E}_2 = \sqrt{2} \left(\mathcal{E}_{22} + \frac{1}{2} \mathcal{E}_{11} \right) = \sqrt{2} \left(\varepsilon_{22} + \frac{1}{2} \varepsilon_{11} \right), \\ \mathcal{E}_3 &= \sqrt{2} \mathcal{E}_{12} = \sqrt{2} \varepsilon_{12}, \end{aligned} \quad (4.20)$$

где

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_0, \quad \mathcal{E}_{ij} = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \varepsilon_0 - \quad (4.21)$$

компоненты девиаторов напряжений и деформаций соответственно; δ_{ij} – символ Кронекера; $\sigma_0 = \sigma_{ii} / 3$, $\varepsilon_0 = \varepsilon_{ii} / 3$ – средние напряжение и деформация соответственно.

Модули векторов напряжений и деформаций, равные модулям девиаторов напряжений и деформаций, определяются соотношениями (4.5). Приведем их еще раз для наглядности:

$$\sigma = \sqrt{S_{ij}S_{ij}} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}, \quad \varepsilon = \sqrt{\mathfrak{E}_{ij}\mathfrak{E}_{ij}} = \sqrt{\mathfrak{E}_1^2 + \mathfrak{E}_2^2 + \mathfrak{E}_3^2}. \quad (4.22)$$

С целью построения экспериментальной диаграммы упрочнения и проверки начальной изотропии материала образцов (сплава В65) были проведены эксперименты, в ходе которых проверили простое пропорциональное нагружение при растяжении, сжатии и кручении. Диаграммы деформирования показаны на рис. 4.22. В опытах при пропорциональном растяжении и кручении деформации превысили 2 %, в опыте при сжатии образец потерял устойчивость при значении деформации чуть более 1 %. При развитых пластических деформациях различие диаграммы кручения по напряжениям от диаграммы растяжения достигает 18 %. Таким образом, разнсопротивляемый материал В95 чувствителен к виду напряженного состояния, т. е. имеет различные механические характеристики при растяжении, сжатии и кручении.

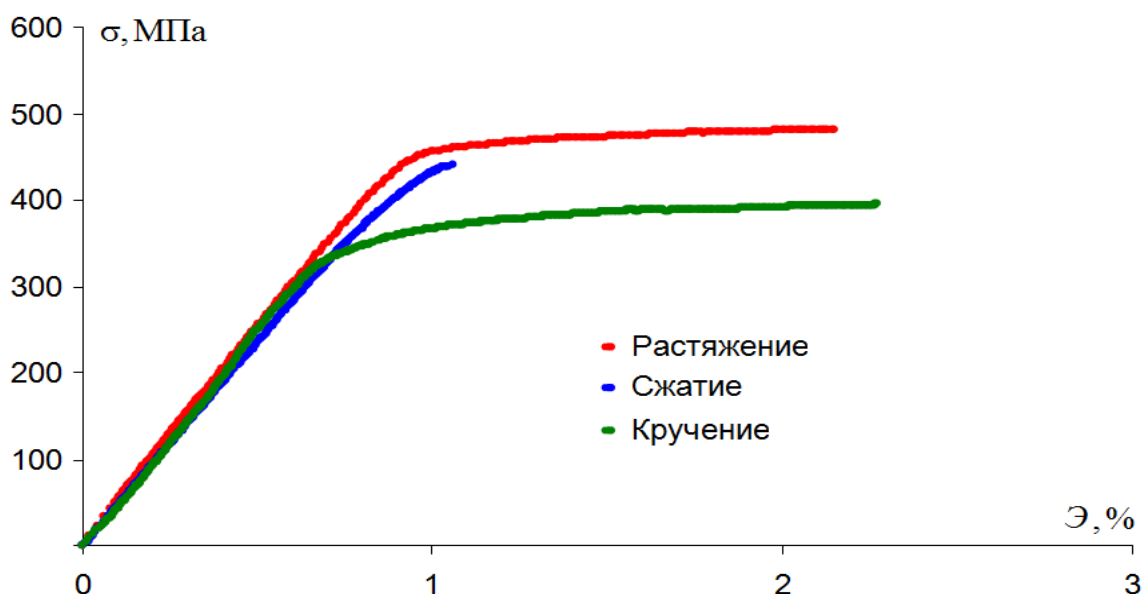


Рис. 4.22. Диаграммы деформирования $\sigma - \varepsilon$ при простом нагружении

Программы сложного деформирования реализовывались в девиаторной плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (это жесткое нагружение) при одновременном комбинированном действии на образцы осевой силы и крутящего момента (*P-M*-опыты).

Все три реализованные траектории деформирования в виде двузвенных ломаных (с углами излома 90°) представлены на рис. 4.23. В исходной траектории деформирования (траектории 1, обозначенной красным цветом) на первом звене реализовывалось кручение до значения $\mathcal{E}_3^0 = 0,75 \%$, а на втором – растяжение до $\mathcal{E}_1 \approx 2,5 \%$ при $\mathcal{E}_3 = \text{const}$. Преобразование исходной траектории осуществлялось вращением против часовой стрелки на 90° (см. траекторию 2, нарисованную синим цветом) и 180° (см. траекторию 3, обозначенную зеленым цветом). В траектории 3 на втором звене удалось достичь лишь значения $\mathcal{E}_1 \approx 1 \%$, так как образец потерял устойчивость. В опытах наблюдалось появление компоненты $\mathcal{E}_2$, т. е. реализованные траектории деформирования не лежали в плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$, однако значение компоненты $\mathcal{E}_2$ в процессе деформирования не превышало 7% от $\mathcal{E}$, поэтому так называемый $\mathcal{E}_2$ -эффект не учитывался.

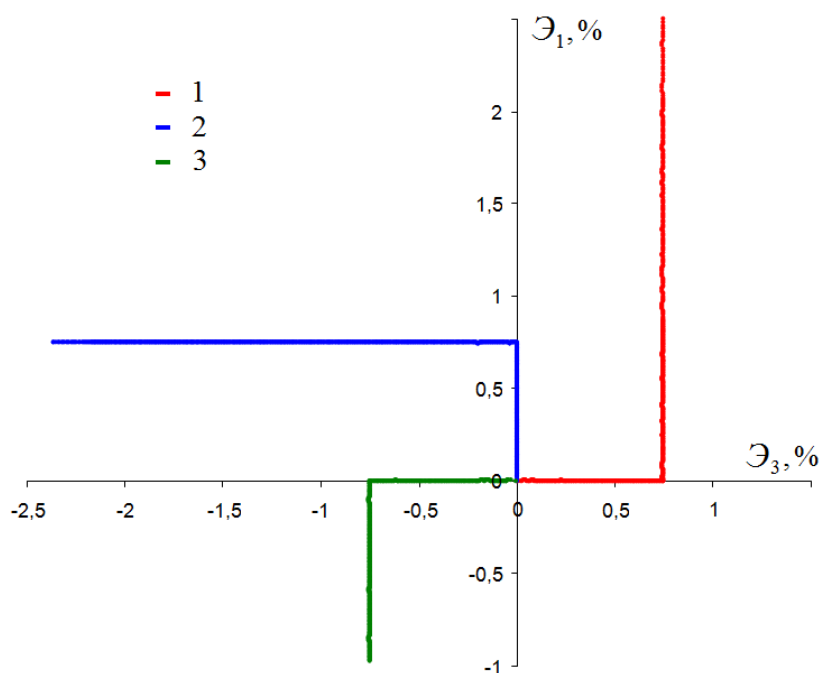


Рис. 4.23. Траектории деформирования на плоскости $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$

На рис. 4.24–4.29 представлены совмещенные экспериментальные результаты испытаний тонкостенных трубчатых образцов по двузвенным ломаным траекториям деформирования 1, 2 и 3. Раскроем ниже содержание некоторых рисунков.

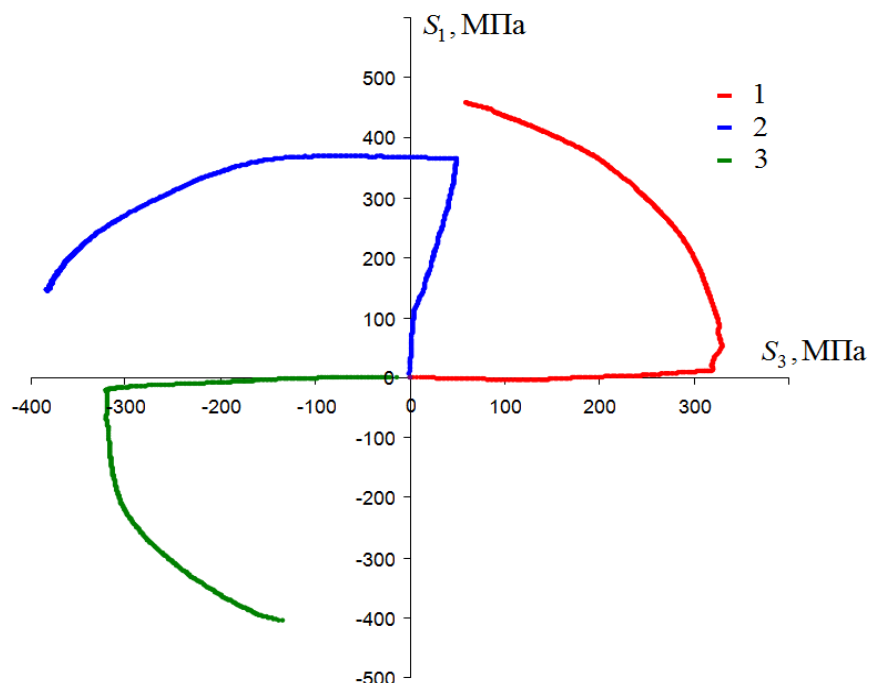


Рис. 4.24. Отклик по напряжениям на плоскости $S_1 - S_3$

На рис. 4.25 приведены совмещенные диаграммы $\sigma - s$ для всех четырех экспериментов. На рис. 4.26 показаны совмещенные диаграммы $\vartheta_1 - \Delta s$, отражающие векторные свойства материала, где Δs – приращение длины дуги траектории деформирования после точки излома; ϑ_1 – угол, который характеризует отклонение вектора напряжений $\bar{\sigma}$ от касательной к траектории деформирования в каждой ее точке. Этот угол, называемый углом сближения, дает представление о воздействии векторных свойств материала на процесс деформирования (о чем мы не раз говорили выше). При обработке экспериментальных данных для определения ϑ_1 использовалось выражение

$$\cos \vartheta_1 = \frac{1}{\sigma \Delta s} \left[S_1 (\vartheta_1 - \vartheta_1^0) + S_3 (\vartheta_3 - \vartheta_3^0) \right], \quad (4.23)$$

где ϑ_1^0 , ϑ_3^0 – значения ϑ_1 и ϑ_3 соответственно в начале второго звена траектории деформирования.

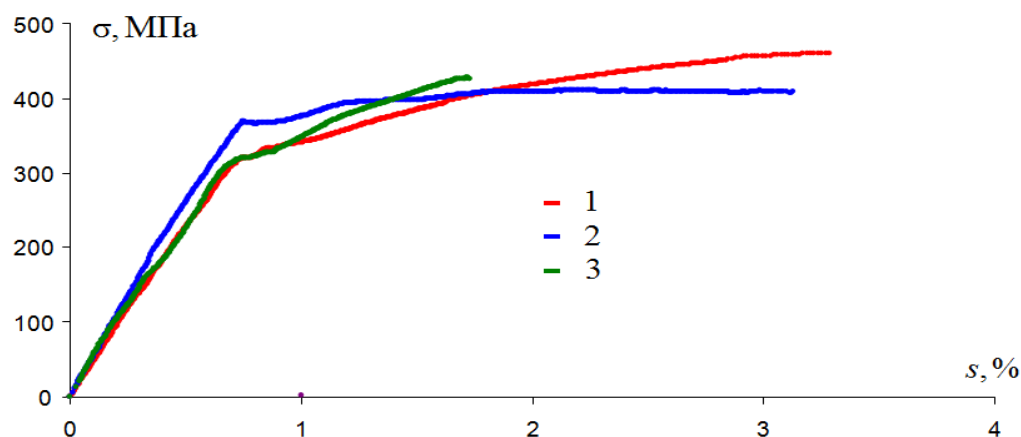


Рис. 4.25. Диаграмма деформирования $\sigma - s$

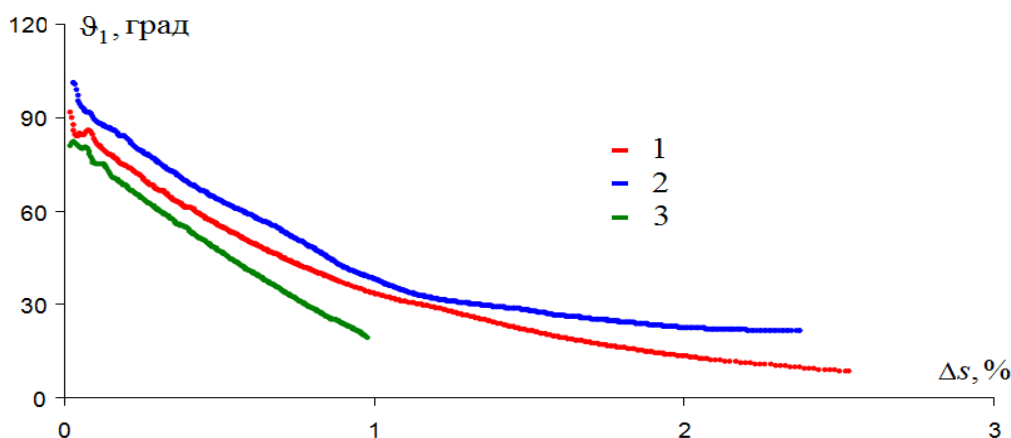


Рис. 4.26. Диаграмма $\Theta_1 - \Delta s$

Рис. 4.25 и 4.26 свидетельствуют о том, что экспериментальные данные для всех траекторий различаются достаточно существенно, а значит, можно сделать вывод: для данной серии испытаний, проведенных на образцах из сплава В95, чувствительного к виду напряженного состояния, характерно небольшое отклонение от постулата изотропии как по скалярным, так и по векторным свойствам.

На рис. 4.25 при изломе траектории на 90° явно есть скалярный «нырок» напряжений. В известных и проведенных нами опытах для материалов, нечувствительных к виду напряженного состояния (например, со сталью 45), скалярный «нырок» напряжений при угле излома 90° практически не наблюдался. При изучении векторных свойств материалов также особенно важна величина

следа запаздывания, хотя эта характеристика и не является стабильной. На прямолинейных участках траекторий после излома следом запаздывания векторных свойств материала является участок такой длины, при котором угол сближения ϑ_1 достигает значения $6\text{--}7^\circ$, что удовлетворяет требованию к степени точности, предъявляемой в рамках теории простых процессов. В данной серии опытов при достаточно развитых пластических деформациях не было достигнуто значения $6\text{--}7^\circ$; это значит, что след запаздывания не был исчерпан. Следовательно, можно сделать вывод: для сплава В95, чувствительного к виду напряженного состояния, след запаздывания векторных свойств значительно больше, чем след запаздывания материалов, нечувствительных к виду указанного состояния (например, стали 45). Кроме того, в ряде случаев этот след может стремиться к некоторому постоянному значению: $\vartheta_1^* \approx 20^\circ$ (см. кривую 2 на рис. 4.25).

На рис. 4.27, 4.28 приведены локальные диаграммы деформирования растяжения-сжатия по компонентам $S_1 - \mathcal{E}_1$ и чистого сдвига по компонентам $S_3 - \mathcal{E}_3$ соответственно.

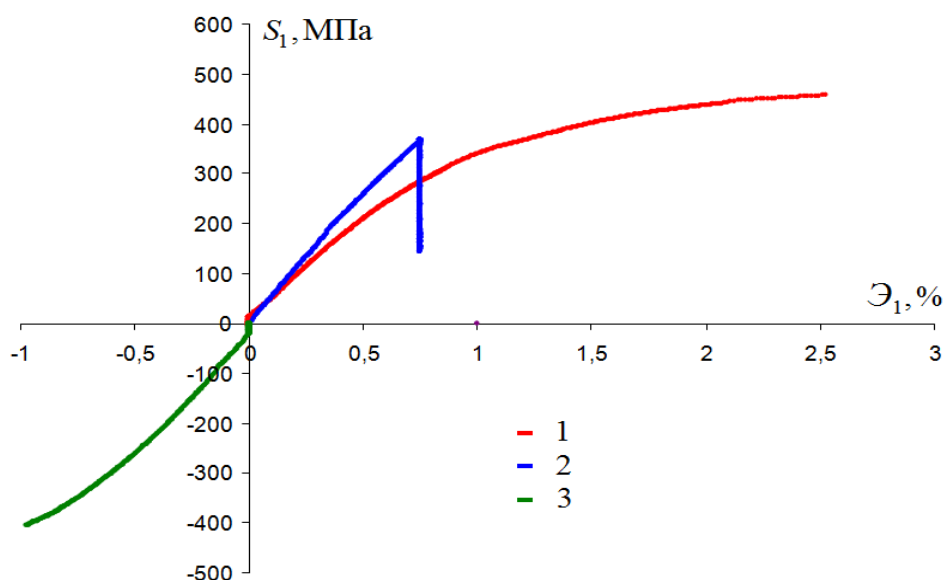


Рис. 4.27. Локальная диаграмма деформирования $S_1 - \mathcal{E}_1$

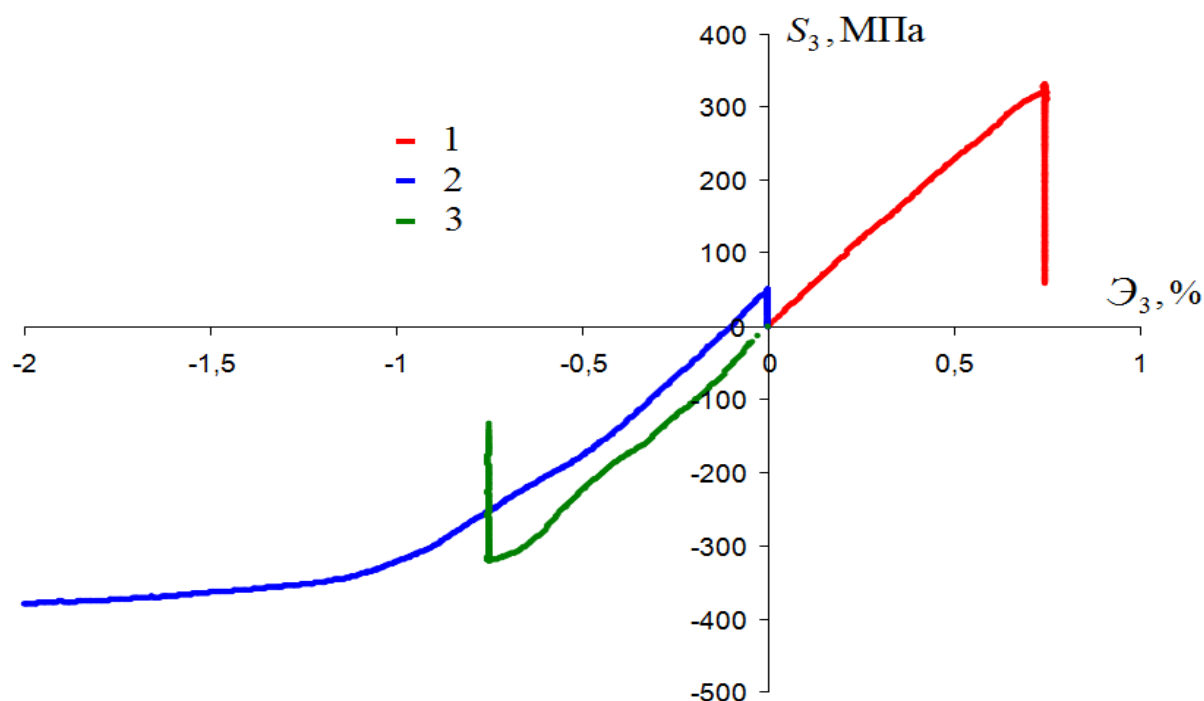


Рис. 4.28. Локальная диаграмма деформирования $S_3 - E_3$

Таким образом, в данном разделе была рассмотрена серия из трех экспериментов, посвященных изучению упругопластического деформирования разносопротивляющегося сплава В95 по двузвенным ломаным траекториям (с углами излома 90°); исследованы скалярные и векторные свойства указанного сплава. Можно констатировать, что он чувствителен к виду напряженного состояния. Установлено, что для реализованных сложных траекторий в виде двузвенных ломаных постулат изотропии имеет большую погрешность, чем у изотропной стали 45 в плане скалярных и векторных свойств.

4.7. Экспериментальное исследование постулата изотропии на плоских «треугольных траекториях»

Как мы говорили выше, «ортогональные нагружения вносят существенные поправки в зависимость между напряжениями и деформациями при пластическом деформировании. В связи с этим возникла идея о проверке достоверности постулата изотропии на участках траекторий деформирования ортогональных и неортогональных друг другу» [190, с. 18]. По мнению автора постулата

пластичности А.А. Ильюшина, в случаях нагружения этот постулат необходимо уточнять. Для этого приведем результаты испытаний тонкостенных трубчатых образцов из сплава В95 в состоянии поставки. Радиус срединной поверхности в данном случае $R = 15$ мм.

Программы деформирования (рис. 4.29) представляли собой трехзвенные ломанные в плоскости $\mathcal{E}_3 \sim \mathcal{E}_1$, полученные в ходе одновременного воздействия растяжения-сжатия и кручения. Исходная (первая) траектория реализовывалась путем кручения до $\mathcal{E} = \mathcal{E}_3 = 1,5 \%$, излома траектории на угол 135° в точке K_0 и деформирования при одновременном растяжении и кручении до точки K_1 с координатами $\mathcal{E}_1 = 2 \%$, $\mathcal{E}_3 = -0,4 \%$. Затем снова производился излом на 135° и осуществлялось деформирование при постоянном значении $\mathcal{E}_3 = -0,4 \%$ до принятия $\mathcal{E}_1$ значения 0.



Рис. 4.29. Исходные траектории деформирования

В точке K_2 при $\mathcal{E}_1 = 0$, $\mathcal{E}_3 = -0,4 \%$ происходил излом на 90° и реализовывалось кручение до потери трубчатым образцом устойчивости [32]. Ортогональные преобразования исходной траектории осуществлялись вращением

против часовой стрелки на 90° и 180° (это программы 2 и 3). Все три программы испытаний (слева направо) представлены на рис. 4.30.

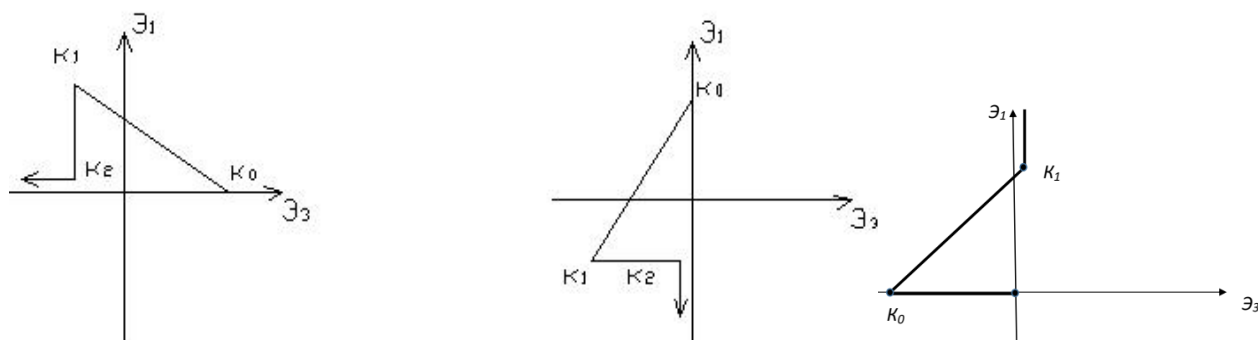


Рис. 4.30. Программы испытаний

На рис. 4.31 представлены в пространстве напряжений соответствующие траектории нагружения (отклик). В программе 3 по сравнению с программой 1 кручение на втором участке происходило в противоположном направлении, что в силу равноправности направлений по кручению несущественно для изменения структуры материала. Растяжение в программе 1 соответствовало растяжению в программе 3. Таким образом, в плане изменения структуры программа 3 идентична программе 1 по отношению к исходной программе. Этим можно объяснить, что в программе 3, как и в программе 1, был нарушен постулат изотропии по векторным и скалярным свойствам.

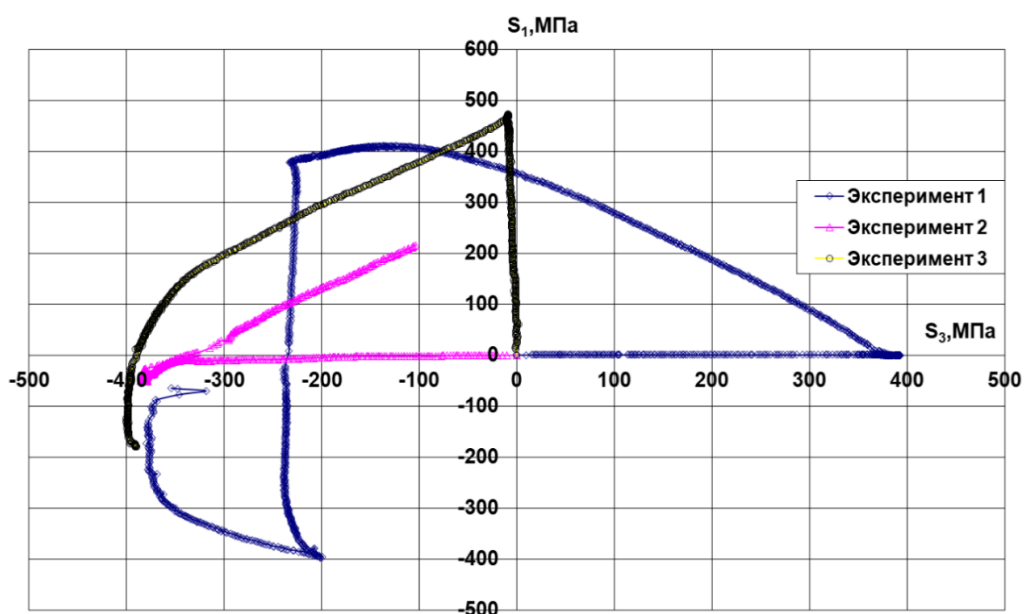


Рис. 4.31. Отклик программы испытаний

Из рис. 4.31 видно, что в результате отражения траектории относительно $\mathcal{E}_3$ первые участки ортогональны друг другу [175].

Скалярные свойства материала показаны на диаграммах деформирования $\sigma \sim S$ (рис. 4.32) – совмещенных диаграммах прослеживания процесса $\sigma \sim s$ для всех трех испытаний.

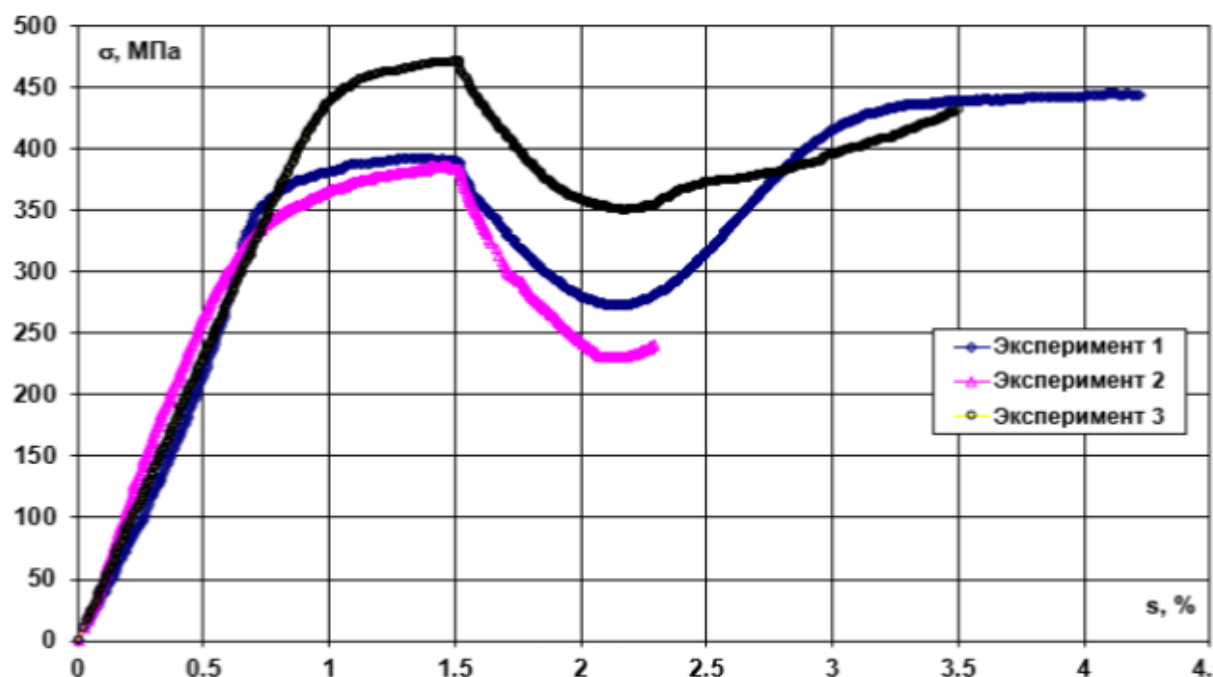


Рис. 4.32. Диаграммы прослеживания процесса

На рис. 4.33, 4.34 представлены локальные диаграммы деформирования $S_1 \sim \mathcal{E}_1, S_3 \sim \mathcal{E}_3$. Причем очевидно (рис. 4.33), что диаграммы не совпадают. Можно сделать вывод: в данной серии испытаний в отношении скалярных свойств постулат изотропии не выполняется. Об этом свидетельствует в том числе кососимметричность диаграмм, учет которой также приводит к изложенному выше выводу.

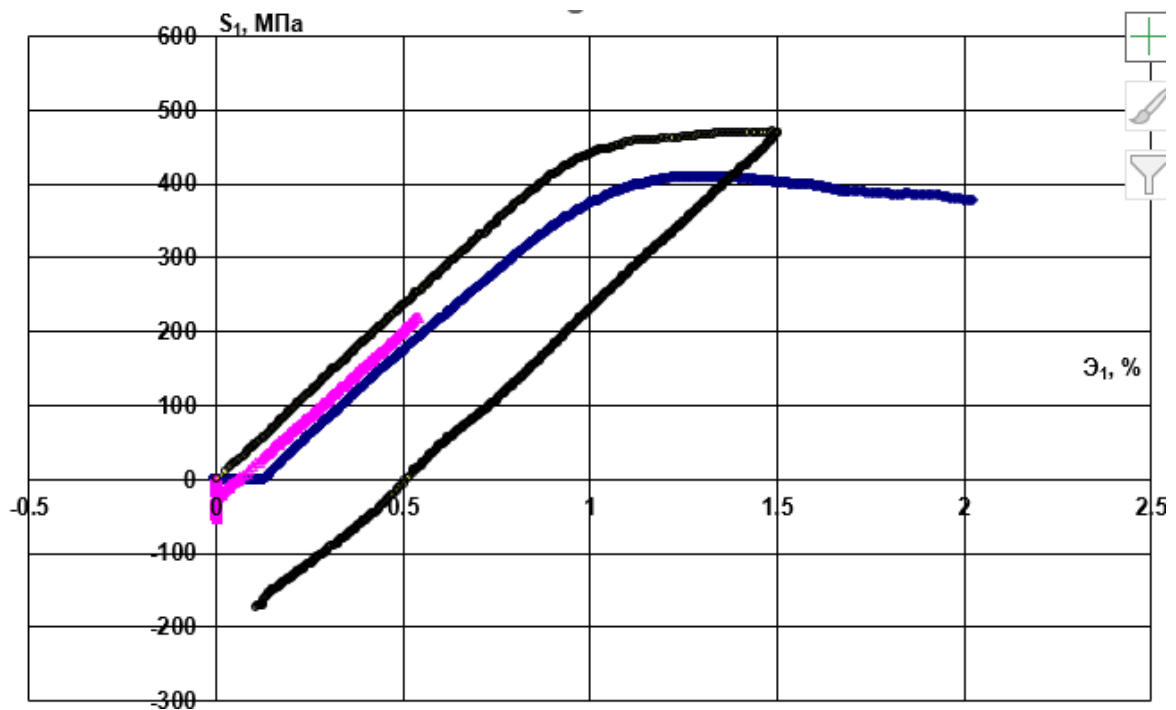


Рис. 4.33. Локальная диаграмма S_1 – ϵ_1

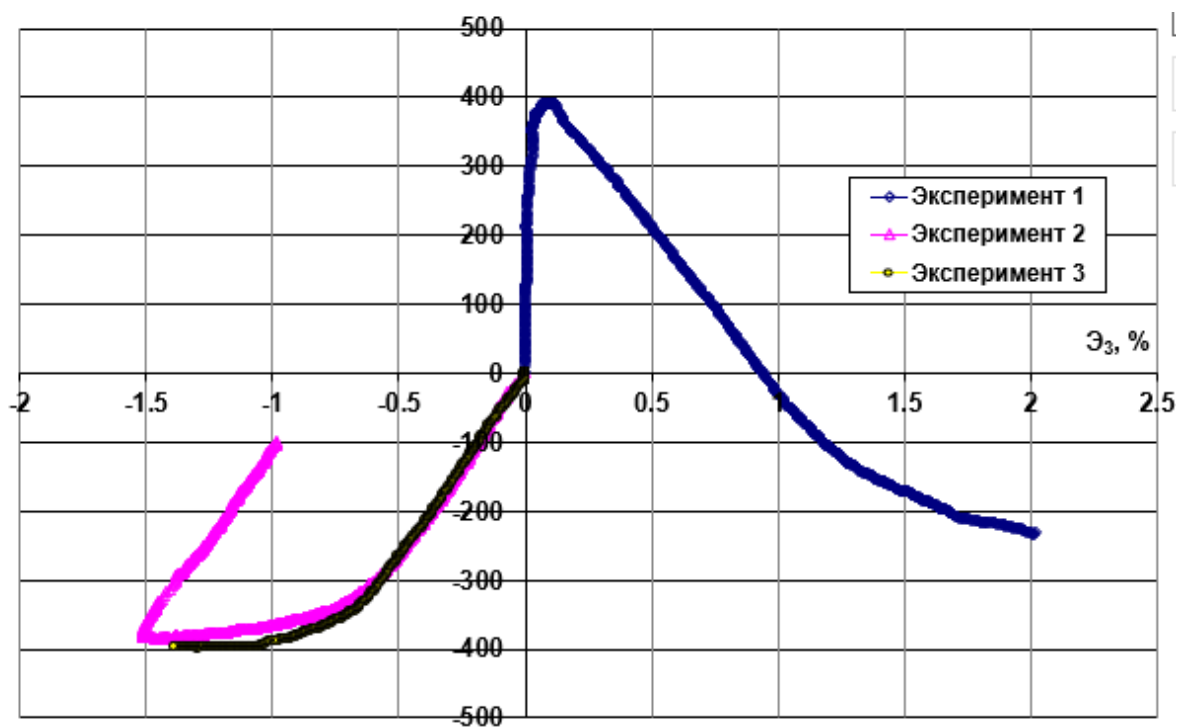


Рис. 4.34. Локальная диаграмма S_3 – ϵ_3

На рис. 4.35 представлены совмещенные диаграммы углов сближения $\vartheta_1 \sim \Delta S$, дающие представление о векторных свойствах материала. Хорошо видно, что для представленных программ углы ϑ_1 отличаются друг от друга примерно на

70°, что вызывает существенное изменение структуры материала и варьирование деформационной анизотропии.

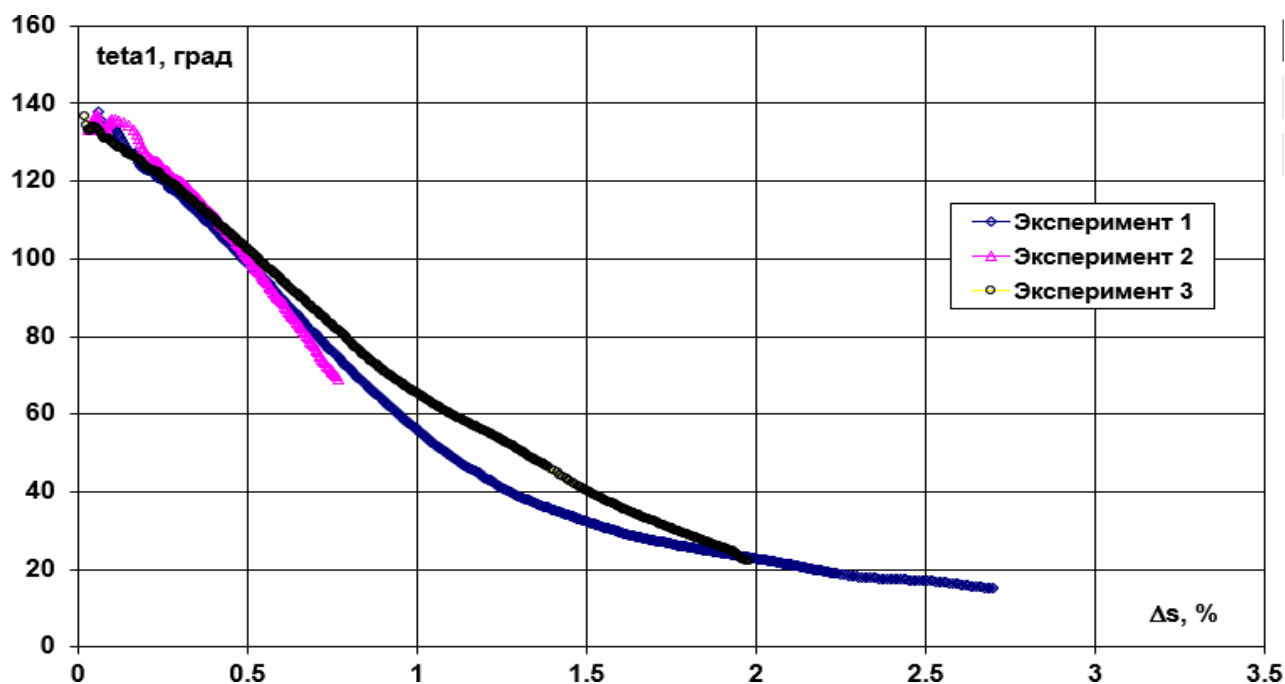


Рис. 4.35. Диаграммы углов сближения θ_1 в зависимости от длины дуги траектории ΔS

В свете скалярных свойств прослеживалась анизотропия материалов, а с учетом векторных наблюдалось отличие углов сближения для отраженных траекторий на втором участке (оно составило примерно 10°). Такое расхождение углов сближения на ортогональных участках траекторий объясняется отличием изменившейся структуры материала от первоначального состояния и возникшей деформационной анизотропией.

В работе не ставится под сомнение основной закон теории пластичности в целом, поскольку он выполняется в подавляющем большинстве случаев сложного деформирования многих материалов. Однако следует отслеживать те особые ситуации, когда постулат изотропии необходимо уточнять, о чем говорил сам А.А. Ильюшин.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана программа базовых экспериментальных исследований для реализации их на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ и определения внешних параметров сложного нагружения на закономерности сложного нагружения и деформирования материалов, в том числе на скалярные и векторные свойства.

2. На автоматическом комплексе СН-ЭВМ в ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» реализовано сложное нагружение в пространстве деформаций на тонкостенных трубчатых образцах из изотропного материала ст45 и разнсопротивляющегося сплава В95.

3. Результаты экспериментальных исследований скалярных и векторных свойств материалов представлены в цифровом и графическом виде.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментальная проверка постулата изотропии подтвердила его выполнение на многозвенных траекториях в условиях ортогонального и неортогонального нагружения для изотропного материала на трубчатых образцах.

2. Экспериментальная проверка постулата изотропии подтвердила его неполное выполнение на многозвенных траекториях в условиях ортогонального и неортогонального нагружения ряда траекторий для разнсопротивляющегося сплава на трубчатых образцах.

3. При простом нагружении (растяжении) цилиндрического образца зёрна металла изотропного материала вытягиваются в направлении действия сил и приобретают однородную ориентацию. Это приводит к изменению функциональных свойств цилиндрических оболочек, а именно к увеличению механических характеристик изотропного материала.

4. Полученные результаты экспериментальных исследований в перспективе могут быть использованы при разработке и верификации математических моделей различных теорий пластичности, оценке ресурса надежности и прочности элементов конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамова, Л. В. К теории упругопластических деформаций металлов по траекториям в виде двузвенных ломаных / Л. В. Абрамова, И. В. Крюкова. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1981. – № 1. – С. 8–12.
2. Научные основы материаловедения : учебник / Б. Н. Арзамасов, А. И. Крашенинников, Ж. П. Пастухова, А. Г. Рахштадт. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1994. – 366 с. – Текст : непосредственный.
3. Бондарь, В. С. Неупругость. Варианты теории / В. С. Бондарь. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 144 с. – ISBN 5-9221-0521-3. – Текст : непосредственный.
4. Бондарь, В. С. Математическое моделирование процессов неупругого поведения и накопления повреждений материала при сложном нагружении / В. С. Бондарь, А. Н. Фролов. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1990. – № 6. – С. 99–107.
5. Бондарь, В. С. Пластическое деформирование материалов, чувствительных к виду напряженного состояния / В. С. Бондарев, Д. Р. Абашев. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. – № 1. – С. 29–39.
6. Васин, Р. А. Некоторые вопросы связи напряжений и деформаций при сложном нагружении / Р. А. Васин. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. Вып. 1. – Москва : МГУ, 1971. – С. 59–126.
7. Дао Зуй Бик. Модификация соотношений упругопластических процессов средней кривизны / Дао Зуй Бик. – Текст : непосредственный // Вестник МГУ. Математика и механика. – 1981. – № 5. – С. 103–106.
8. Дао Зуй Бик. Экспериментальная проверка упрощенных вариантов теории пластичности / Дао Зуй Бик. – Текст : непосредственный // Вестник МГУ. Математика и механика. – 1966. – № 1. – С. 107–118.
9. Дегтярев, В. П. Пластичность и ползучесть в машиностроительных конструкциях / В. П. Дегтярев. – Москва : Машиностроение, 1967. – 130 с. – Текст : непосредственный.
10. Гулятьев, В. И. Экспериментальные исследования процессов деформирования стали 45 на винтовых траекториях постоянной кривизны и кручения / В. И. Гулятьев. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 100-летию А. А. Ильюшина, Москва, 20–21 января 2011 г. / Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова ; Российская академия наук ; Российский национальный комитет по теоретической и прикладной механике ; под редакцией И. А. Кийко, Г. Л. Бровко, Р. А. Васина. – Москва : МГУ, 2011. – С. 470. – ISBN 978-5-211-05992-4.

11. Гультияев, В. И. Выпучивание и устойчивость цилиндрической оболочки за пределом упругости в условиях ползучести : специальность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гультияев Вадим Иванович ; Тверской государственный технический университет. – Тверь: ТГТУ, 2000. – 24 с. – Текст : непосредственный.
12. Гультияев, В. И. Испытания конструкционных материалов по пространственным винтовым траекториям / В.И. Гультияев. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела : материалы VII Международного научного симпозиума, посвященного 80-летию В. Г. Зубчанинова. – Тверь: ТГТУ, 2011. – С. 100–104. – ISBN 978-5-7995-0542-4.
13. Гультияев, В. И. Методика экспериментального исследования устойчивости в условиях ползучести при повышенных температурах / В. И. Гультияев. – Текст : непосредственный // Сб. молодых ученых. – Тверь : ТГТУ, – 1998.
14. Гультияев, В.И. Методика исследования пластичности при повышенных температурах / В. И. Гультияев, В. В. Гараников, В. Н. Ведерников. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы IV Международного научного симпозиума (Тверь, 16–19 июня 1998 г.). – Тверь : ТГТУ, 1998. – ISBN 5-7995-0107-1.
15. Патент № 15396 U1 Российская Федерация, МПК G01B 7/16. Тензомер для измерения деформаций образца при сложном напряженном состоянии : № 2000113379/20 : заявлено 30.05.2000 : опубликовано 10.10.2000 / Гультияев В. И., Гараников В. В., Акимов А. В., Зубчанинов В. Г. ; заявитель ТГТУ. – 5 с. – Текст : непосредственный.
16. Гультияев, В. И. О достоверности постулата изотропии в теории пластичности / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование : сборник трудов Седьмой Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 28–30.04.2009, Санкт-Петербург / Институт оптики атмосферы Сибирского отделения Российской академии наук [и др.] ; под редакцией А. П. Кудинова, Г. Г. Матвиенко. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2009.
17. Гультияев, В. И. Сложное пластическое деформирование стали по траекториям типа «плоский винт» / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Механика деформируемого твердого тела. – Москва : Известия РАН, 2008.
18. Гультияев, В.И. Устойчивость, пластичность, ползучесть при сложном нагружении / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Труды международного симпозиума. Часть 2. – Тверь : ТГТУ, 2001.

19. Гультияев, В. И. Экспериментальное исследование сложного нагружения материалов на траекториях типа веера : [сайт] / В. И. Гультияев. – Текст : электронный. – URL: <http://ppp.mech.unn.ru/index.php/ppp/article/download/24/13/> (дата обращения: 22.01.2025).
20. Актуальные проблемы механики оболочек : тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию профессора Х. М. Муштари, 90-летию профессора К. З. Галимова и 80-летию профессора М. С. Коршина, Казань, 26–30 июня 2000 г. – Казань : Институт механики и машиностроения КНЦ РАН, 2000. 242 с. – Текст : непосредственный.
21. Упругопластическая устойчивость цилиндрических оболочек при сложном докритическом нагружении / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов, В. Н. Ведерников, А. В. Акимов [и др.]. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы механики оболочек : труды Международной конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки ТА СССР профессора А. В. Саченкова, Казань, 9–11 сентября 1998 г. – Казань: УНИПРЕСС, 1998.
22. Гультияев, В. И. Влияние состояний полной и неполной пластичности материала на глобальную диаграмму деформирования / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии : сборник материалов V Международной научно-технической конференции, Тула, 30 июня – 2 июля 2004 г. – Тула : ГУИПП Тул. полиграфист, 2004 – 111 с.
23. Гультияев, В. И. Математическое моделирование процессов пластического деформирования для траекторий средней кривизны / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2009. – № 71. – С. 20–25.
24. Гультияев, В. И. О влиянии состояний полной и неполной пластичности материала на их глобальную диаграмму деформирования и векторные свойства / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Механика материалов и прочность конструкций. Труды СПбГПУ. – 2004. – № 489.
25. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование устойчивости цилиндрических оболочек из стали 45 при сложном докритическом нагружении / В. Г. Зубчанинов, В. И. Гультияев. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2011. – № 2 (10). – С. 16–21.
26. Гультияев, В. И. Экспериментальное исследование устойчивости оболочек при сложном нагружении и разгрузке материала / В. И. Гультияев, В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2011. – № 2 (10). – С. 22–26.

27. Зубчанинов, В. Г. Сложное нагружение и разгружение конструкционных материалов типа Ст-45 в условиях нормальных температур / В. Г. Зубчанинов, В. И. Гулятьев, С. Л. Субботин, В. В. Гараников // Машиностроение. – 2015. – Т. 3. – № 3. – С. 47–49.
28. Гулятьев, В. И. Структурные изменения стали 45 в процессе деформирования / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Серия: Строительные материалы, конструкции и сооружения. – 2005. – Вып. 8. – С. 26–29.
29. Гулятьев, В. И. Экспериментальное исследование влияния деформационной анизотропии на свойства сталей / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела : труды VI Международного научного симпозиума / ответственный редактор В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 2006. – С. 25. – ISBN 5-7995-0344-9.
30. Гулятьев, В. И. Экспериментальное исследование влияния неполной пластичности на сложное нагружение-разгружение материалов / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии : сборник трудов IV Международной научно-технической конференции. – Тула : ТГУ, 2003. – С. 23–25.
31. Гулятьев, В. И. Экспериментальное исследование закономерностей процессов сложного нагружения-разгружения / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы прочности : научные труды IV Международного семинара, 18–22 сентября 2000 г., Старая Русса. В 2 томах. Том 2. – Великий Новгород : Новгор. гос. ун-т, 2000. – 321 с.
32. Гулятьев, В. И. Закономерности пластического деформирования конструкционных материалов при сложном нагружении : специальность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Гулятьев Вадим Иванович ; Тверской государственный технический университет. – Тверь : ТГТУ, 2012. – 43 с. – Текст : непосредственный.
33. Гулятьев, В. И. Экспериментальные исследования предельной поверхности материала / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2007. – № 69. – С. 90–94.
34. Гулятьев, В. И. Экспериментальное исследование процессов сложного деформирования материалов на многозвенных траекториях / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2007. – № 69. – С. 95–98.

35. Гуляев, В. И. Экспериментальное исследование процессов сложного деформирования материалов на многозвенных траекториях / В. И. Гуляев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы термовязкопластичности : труды II школы-семинара / под общей редакцией : В. С. Бондаря, Р. А. Васина. – Москва : МАМИ, 2007. –
36. Гуляев, В. И. Экспериментальные исследования процессов сложного пластического деформирования материалов по траекториям типа веера / В. И. Гуляев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2005. – № 67. – С. 14–19.
37. Гуляев, В. И. Экспериментальные исследования предельной поверхности материала / В. И. Гуляев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2007. – Вып. 67. – С. 90–94.
38. Гуляев, В. И. Экспериментальное исследование сложного деформирования стали 45 по траекториям типа «плоский винт» / В. И. Гуляев, В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости : сборник статей к 75-летию со дня рождения В. Г. Зубчанинова / ответственные редакторы : Е. И. Шемякин, Д. Д. Ивлев. – Тверь: ТГТУ, 2007. – С. 104–109.
39. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование процессов сложного нагружения материалов на многозвенных траекториях / В. Г. Зубчанинов, В. И. Гуляев, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы термовязкопластичности : труды II школы-семинара / под общей редакцией : В. С. Бондаря, Р. А. Васина. – Москва : МАМИ, 2007. – С. 19–24.
40. Патент № 2283401 С1, МПК E04B 1/18. Способ строительства каркасных зданий : № 2005107984/03 : заявлено 21.03.2005 : опубликовано 09.10.2006 / Трофимов В. И., Кукуть В. А., Гуляев В. И. ; заявитель ТГТУ. – 7 с. – Текст : непосредственный.
41. Гуляев, А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев. – [6-е изд., перераб. и доп.] – Москва : Metallurgy, 1986. – 544 с. – Текст : непосредственный.
42. Зубчанинов, В. Г. Гипотеза ортогональности в теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы механики деформируемого твердого тела : К 70-летию со дня рождения академика Н. Ф. Морозова / редколлегия : Б. Н. Семенов (отв. ред.) [и др.]. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 137–140. – ISBN 5-7997-0427-4.
43. Зубчанинов, В. Г. К использованию общей математической теории пластичности в теории устойчивости / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Устойчивость в механике деформируемого твердого тела : материалы Всесоюзного симпозиума, сентябрь 1981 г. Калинин : КПИ, 1982. – С. 100–115.

44. Зубчанинов, В. Г. К модели неполной пластичности Е. И. Шемякина / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород : сборник статей к 75-летию Е. И. Шемякина / редколлегия : Д. Д. Ивлев, Н. Ф. Морозов (отв. ред.) [и др.]. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – С. 284–287. – ISBN 5-9221-0672-4.
45. Зубчанинов, В. Г. К основам общей математической теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. – Москва : МГУ, 2001. – С. 139–146.
46. Зубчанинов, В. Г. Математические модели полного и неполного пластического деформирования сплошных сред / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела : труды VI Международного научного симпозиума / ответственный редактор В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 2006. – С. 4–13.
47. Зубчанинов, В. Г. Математическая теория пластичности : монография / В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 2002. – 300 с. – Текст : непосредственный.
48. Зубчанинов, В. Г. Механика сплошных деформируемых сред. – Тверь : ТГТУ, 2000. – 703 с. – ISBN 5-7995-0148-9. – Текст : непосредственный.
49. Зубчанинов, В. Г. Общие соотношения связи между напряжениями и деформациями в теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2002. – № 1. – С. 35–39.
50. Зубчанинов, В. Г. Об активных и пассивных процессах, полной и неполной пластичности при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы нелинейной механики : сборник. – Тула : ТГУ, 2003. – С. 164–177.
51. Зубчанинов, В. Г. Об определяющих соотношениях теории упругопластических процессов / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1989. – Т. 25. – № 5. – С. 3–12.
52. Зубчанинов, В. Г. Об определяющих соотношениях теории упругопластических процессов / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1991. – Т. 27. – № 12. – С. 3–13.
53. Зубчанинов, В. Г. Общая теория устойчивости оболочек и пластин за пределом упругости при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости : материалы V Международного научного симпозиума, посвященного 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники России профессора В. Г. Зубчанинова, Тверь, 14–16 декабря 2000 г. – Тверь : ТГТУ, 2000. – С. 3–18.
54. Зубчанинов, В. Г. Общая теория устойчивости оболочек и пластин за пределом упругости при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Механика оболочек и пластин : сборник докладов XX Международной конференции по теории оболочек и пластин (17–19 сентября

2002 г.) / редколлегия : В. Г. Баженов (отв. ред.) [и др.]. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2002. – С. 9–41.

55. Зубчанинов, В. Г. Общие соотношения связи между напряжениями и деформациями в теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2002. – № 1. – С. 35–39.

56. Зубчанинов, В. Г. Определяющие соотношения теории неупругих процессов в пространстве напряжений. Сообщение 1. Теоретические основы / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1992. – № 6. – С. 3–13.

57. Зубчанинов, В. Г. Определяющие соотношения теории неупругих процессов в пространстве напряжений. Сообщение 2. Экспериментальные основы / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1992. – № 6. – С. 3–12.

58. Зубчанинов, В. Г. К вопросу об определяющих законах связи общей математической теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (206). – С. 48–52.

59. Зубчанинов, В. Г. Определяющие соотношения теории процессов пластического деформирования материалов при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Прочность и пластичность : труды IX конференции. В 2 томах. Том 1. – Москва : Институт проблем механики РАН, 1996. – С. 80–85.

60. Зубчанинов, В. Г. Основы теории упругости и пластичности : учебник для вузов / В. Г. Зубчанинов. – Москва : Высшая школа, 1990. – 367 с. – Текст : непосредственный.

61. Зубчанинов, В. Г. Проблемы математической теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 2000. – № 1. – С. 22–41.

62. Зубчанинов, В. Г. Постулат локальной размерности образа процесса и определяющие соотношения в теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1998. – Т. 34. – № 5. – С. 86–97.

63. Зубчанинов, В. Г. Постулат физической определенности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы III симпозиума (Тверь, 3–5 сентября 1992 г.). В 3 частях. Часть 3. – Тверь : ТвеПИ, 1993. – С. 4–21.

64. Зубчанинов, В. Г. Проблемы математической теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы механики деформируемых тел и горных пород : сборник статей / под редакцией А. Ю. Ишлинского. – Москва : МГТУ, 2001. – С. 219–240.

65. Зубчанинов, В. Г. Проблемы математической теории пластичности / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 2000. – № 1. – С. 22–41.
66. Зубчанинов, В. Г. Процессы и состояния полного и неполного пластического деформирования материалов при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика, механика, информатика. – 2004. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 82–97.
67. Зубчанинов, В. Г. Сложное нагружение при чистом формоизменении / В. Г. Зубчанинов, В. Д. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Устойчивость, пластичность, ползучесть при сложном нагружении : сборник научных трудов. Вып. 2. – Тверь : ТГТУ, 2000. – С. 142–149.
68. Зубчанинов, В. Г. Теория устойчивости пластин и оболочек за пределом упругости при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Общие задачи и методы исследования пластичности и вязкоупругости материалов и конструкций : сборник научных трудов / Академия наук СССР ; Уральский научный центр ; ответственные редакторы : А. А. Поздеев [и др.]. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1986. – С. 40–49.
69. Зубчанинов, В. Г. Устойчивость и выпучивание упругопластических систем при сложном нагружении / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Устойчивость в механике деформируемого твердого тела : материалы II Всесоюзного симпозиума, Калинин, 27–30 июня 1986 г. – Калинин : КПИ, 1986. – С. 10–54.
70. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование и обоснование теории упругопластических процессов / В. Г. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы III симпозиума (Тверь, 3–5 сентября 1992 г.). В 3 частях. Часть 1. – Тверь : ТвеПИ, 1992. – С. 94–159.
71. Экспериментальное исследование пластических свойств стали на многозвенных пространственных траекториях / В. Г. Зубчанинов, А. В. Акимов, В. Дабуль, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы III симпозиума (Тверь, 3–5 сентября 1992 г.). В 3 частях. Часть 3. – Тверь : ТвеПИ, 1993. – С. 164–177.
72. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование процессов сложного нагружения сплава АМГ-6 / В. Г. Зубчанинов, С. Дж. Аль-Делеми. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1993. – № 5. – С. 36–42.
73. Зубчанинов, В. Г. Влияние разгрузки материала на ползучесть сплава 01570 и АМГ-6 / В. Г. Зубчанинов, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1990. – № 9. – С. 33–34.
74. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование процесса сложного нагружения сплава 01570 по траекториям в виде двузвенных ломаных при различных

- температурах / В. Г. Зубчанинов, В. В. Гараников, С. Дж. Аль-Делеми. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1993. – № 3. – С. 35–39.
75. Патент № 7202 U1 Российская Федерация, МПК G01N 3/28 (1995.01). Автоматизированный комплекс для исследования упруговязкопластических свойств материалов при сложном нагружении : № 97108023/20 : заявлено 20.05.1997 : опубликовано 16.07.1998 / Зубчанинов В. Г., Охлопков Н. Л., Акимов А. В. ; заявитель ТГТУ. – 6 с. – Текст : непосредственный.
76. Зубчанинов, В. Г. Влияние замены неаналитических траекторий с точками излома гладкими траекториями / В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев, В. И. Гуль-тяев. – Текст : непосредственный // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2020. – № 2. – С. 52–63.
77. Зубчанинов, В. Г. К теории пластичности для траекторий малой кривизны и локально-простых процессов / В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы механики и прикладной математики : сборник трудов международной школы-семинара, Воронеж, 12–17 сентября 2005 г. / редколлегия : А. Д. Чернышов (отв. ред.), А. И. Шашкин, Н. А. Каплиева. – Воронеж: ВГУ, 2003. – С. 123–126. – ISBN 5-9273-0900-3.
78. Зубчанинов, В. Г. О влиянии сложного нагружения-разгружения на закономерности пластического деформирования материалов / В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2003. – № 3. – С. 64–67.
79. Зубчанинов, В. Г. О процессах сложного нагружения материалов / В. Г. Зубчанинов, Д. В. Зубчанинов. – Текст : непосредственный // «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии», международная научно-техническая конференция (3 ; 2002 ; Тула). Сборник материалов III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (25–27 июня 2002 г.). – Тула : ТГУ, 2002. – С. 29–31. – ISBN 5-88422-293-9.
80. Зубчанинов, В. Г. Локально-простые процессы деформирования / В. Г. Зубчанинов, Д. Е. Иванов. – Текст : непосредственный // Устойчивость в механике деформируемого твердого тела. – Калинин : КПИ, 1987. – С. 6–11.
81. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование упругопластического деформирования сталей 40 и 40Х при сложном нагружении по плоским траекториям / В. Г. Зубчанинов, Д. Е. Иванов, А. В. Акимов. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы III симпозиума (Тверь, 3–5 сентября 1992 г.). В 3 частях. Часть 3. – Тверь : ТвеПИ, 1993. – С. 44–93.
82. Зубчанинов, В. Г. Пластичность и устойчивость. В 2 томах. Том 1 / В. Г. Зубчанинов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 448 с. – ISBN 978-5-9221-0732-7. – Текст : непосредственный.

83. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование процессов сложного нагружения стали 45 по двузвенным траекториям / В. Г. Зубчанинов, М. Ш. Мошкович // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы III симпозиума (Тверь, 3–5 сентября 1992 г.). В 3 частях. Часть 2. – Тверь : ТвепИ, 1992. – С. 136–144.
84. Зубчанинов, В. Г. О деформировании конструкционных сталей по замкнутым траекториям непропорционального нагружения / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Математическое моделирование систем и процессов. – 1998. – № 6. – С. 30–37.
85. Зубчанинов, В. Г. О некоторых особенностях упрочнения конструкционных сталей при деформировании по замкнутым криволинейным траекториям / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1996. – № 5. – С. 17–22.
86. Зубчанинов, В. Г. Пластическое деформирование стали по замкнутым криволинейным траекториям / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1996. – № 4. – С. 19–25.
87. Зубчанинов, В. Г. Упрочнение конструкционных материалов при сложном деформировании по замкнутым плоским траекториям / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1997. – № 3. – С. 19–29.
88. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное исследование закономерностей пластического деформирования металлов по плоским криволинейным траекториям / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1997. – Т. 33. – № 7. – С. 19–29.
89. Гараников, В. В. О деформировании металлов по плоским криволинейным траекториям переменной кривизны. Сообщение 1. Векторные и скалярные свойства / В. В. Гараников, В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1999. – № 4. – С. 5–11.
90. Гараников, В. В. О деформировании металлов по плоским криволинейным траекториям переменной кривизны. Сообщение 2. Функции процесса / В. В. Гараников, В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности. – 1999. – № 4. – С. 12–18.
91. Зубчанинов, В. Г. Проверка физической достоверности гипотезы компланарности на многозвенных ломаных траекториях в пространстве напряжений / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости : материалы V Международного научного симпозиума, посвященного 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники России профессора В. Г. Зубчанинова, Тверь, 14–16 декабря 2000 г. – Тверь : ТГТУ, 2000. – С. 55–61.

92. Зубчанинов, В. Г. Сложное деформирование металлов по плоской криволинейной траектории вида архимедовой спирали / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Устойчивость, пластичность и ползучесть при сложном нагружении : сборник научных трудов / ответственный редактор В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 2000. – С. 78–84.
93. Гараников, В. В. Сложное деформирование металлов по плоской криволинейной траектории в виде астроида / В. В. Гараников, В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 2000. – Т. 36. – № 7. – С. 130–136.
94. Зубчанинов, В. Г. Сложное деформирование металлов по плоским криволинейным траекториям переменной кривизны / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела : материалы IV Международного научного симпозиума (Тверь, 16–19 июня 1998 г.). – Тверь : ТГТУ, 1998. – С. 77–87. – ISBN 5-7995-0107-1.
95. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальная пластичность. В 2 книгах. Книга 1. Процессы сложного деформирования / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Тверь : ТГТУ, 2003. – 172 с. – ISBN 5-7995-0236-1. – Текст : непосредственный.
96. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальная пластичность. В 2 книгах. Книга 2. Процессы сложного нагружения / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Тверь : ТГТУ, 2004. – 184 с. – Текст : непосредственный
97. Зубчанинов, В. Г. Механика процессов пластических сред / В. Г. Зубчанинов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 352 с. – Текст : непосредственный.
98. Зубчанинов, В. Г. Экспериментальное обоснование определяющих соотношений теории пластичности на пространственных винтовых траекториях сложного нагружения материала / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 4. – С. 22–26.
99. Зубчанинов, В. Г. Проверка физической достоверности частных теорий пластичности на многозвенных траекториях деформаций / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. Дабуль. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность при сложном нагружении : межвузовский сборник научных трудов / ответственный редактор В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 1994. – С. 112–122. – ISBN 5-230-19356-5.
100. Некоторые результаты экспериментальных исследований сложного деформирования трубчатых образцов из стали 45 по многозвенным пространственным траекториям / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, А. В. Акимов, В. Дабуль. – Текст : непосредственный // Устойчивость и пластичность при сложном нагружении : межвузовский сборник научных трудов / ответственный редактор В. Г. Зубчанинов. – Тверь : ТГТУ, 1994. – С. 60–85. – ISBN 5-230-19356-5.

101. Экспериментальное исследование процессов сложного активного и пассивного деформирования металлов по траекториям вида архимедовых спиралей / В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, А. В. Акимов, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Устойчивость, пластичность, ползучесть при сложном нагружении : сборник научных трудов. – Тверь : ТГТУ, 1998. – С. 103–114. – ISBN 5-7995-0145-4.
102. Зубчанинов, В. Г. Пластичность и устойчивость. В 2 томах. Том 2. Пластичность / В. Г. Зубчанинов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 336 с. – Текст : непосредственный.
103. Жуков, А. М. Некоторые особенности поведения материалов при упругопластическом деформировании / А. М. Жуков. – Текст : непосредственный // Вопросы теории пластичности : сборник статей / ответственный редактор А. А. Ильюшин. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1961. – С. 30–57.
104. Жуков, А. М. Сложное нагружение в теории пластичности изотропных материалов / А. М. Жуков. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. – 1955. – № 8. – С. 81–92.
105. Ивлев, Д. Д. О постулате изотропии в теории пластичности / Д. Д. Ивлев. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1960. – № 2. – С. 125–127.
106. Ивлев, Д. Д. О работе В. С. Ленского «Некоторые новые данные о пластичности металлов при сложном нагружении» / Д. Д. Ивлев. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1960. – № 6. – С. 179–181.
107. Ивлев, Д. Д. Теория идеальной пластичности / Д. Д. Ивлев. – Москва : Наука, 1966. – 231 с. – Текст : непосредственный.
108. Ильин, В. А. Линейная алгебра : учебник для вузов / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с. – ISBN 5-9221-0129-3.
109. Ильюшин, А. А. Вопросы общей теории пластичности / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1960. – Т. 24. – Вып. 3. – С. 399–411.
110. Ильюшин, А. А. Деформация вязкопластического тела / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Ученые записки Московского университета. – 1940. – Вып. 39. – С. 3–81.
111. Ильюшин, А. А. Еще о постулате изотропии / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1962. – № 1. – С. 201–204.
112. Ильюшин, А. А. К вопросу о вязкопластическом течении материала / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Труды. В 3 томах. Том 1. 1935–1945 / составители : Е. А. Ильюшина, Н. Р. Короткина. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – С. 115–131. – ISBN 5-9221-0329-6.

113. Ильюшин, А. А. К теории малых упругопластических деформаций / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1946. – Т. 10. – Вып. 3. – С. 347–356.
114. Ильюшин, А. А. Метод СН-ЭВМ в теории пластичности / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Проблемы прикладной математики и механики. – 1971. – С. 166–178.
115. Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды : учебник для институтов по специальности «Механика» / А. А. Ильюшин. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : МГУ, 1978. – 287 с. – Текст : непосредственный.
116. Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды : / А. А. Ильюшин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : МГУ, 1990. – 310 с. – Текст : непосредственный.
117. Ильюшин, А. А. Научные основы прочности и пластичности твердых тел / А. А. Ильюшин, В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Вестник Академии наук СССР. – 1958. – № 6. – С. 49–55.
118. Ильюшин, А. А. Некоторые вопросы теории пластических деформаций / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1943. – Т. 7. – № 4. – С. 245–272.
119. Ильюшин, А. А. Об одной модели, поясняющей аппроксимационный метод СН-ЭВМ в теории пластичности / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. Вып. 1. – Москва : МГУ, 1971. – С. 52–58.
120. Ильюшин, А. А. Об основах общей математической теории пластичности / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Вопросы теории пластичности : сборник статей / ответственный редактор А. А. Ильюшин. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1961. – С. 3–29.
121. Ильюшин, А. А. О постулате пластичности / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1961. – Т. 25. – Вып. 3. – С. 503–507.
122. Ильюшин, А. А. О приращении пластической деформации и поверхности текучести / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1960. – Т. 24. – Вып. 4. – С. 663–666.
123. Ильюшин, А. А. О связи между напряжениями и деформациями в механике сплошной среды / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1954. – Т. 18. – Вып. 6. – С. 641–666.
124. Ильюшин, А. А. Пластичность. Основы общей математической теории / А. А. Ильюшин. Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 271 с. – Текст : непосредственный.
125. Ильюшин, А. А. Пластичность. В 2 частях. Часть 1. Упругопластические деформации / А. А. Ильюшин. – Москва ; Ленинград : Гостехиздат, 1948. – 376 с. – Текст : непосредственный.

126. Ильюшин, А. А. Связь между теорией Сен-Венана – Леви – Мизеса и теорией малых упругопластических деформаций / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1945. – Т. 9. – Вып. 3. – С. 207–218.
127. Ильюшин, А. А. Теория упругопластических деформаций и ее приложение / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук, 1948. – № 6. – С. 769–788.
128. Ильюшин, А. А. Теория пластичности при простом нагружении тел, материал которых обладает упрочнением / А. А. Ильюшин. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1947. – Т. 11. – Вып. 2. – С. 293–296.
129. Ильюшин, А. А. Труды. В 3 томах. Том 1. 1935–1945 / составители : Е. А. Ильюшина, Н. Р. Короткина. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 350 с. – ISBN 5-9221-0329-6. – Текст : непосредственный.
130. Ильюшин, А. А. Труды. В 3 томах. Том 2. Пластичность. 1946–1966 / составители : Е. А. Ильюшина, Н. Р. Короткина. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 479 с. – Текст : непосредственный.
131. Ильюшин, А. А. О соотношениях и методах современной теории пластичности / А. А. Ильюшин, В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Успехи механики деформируемых сред : сборник статей к 100-летию со дня рождения академика Б. Г. Галеркина. – Москва : Наука, 1975. – С. 240–255.
132. Ишлинский, А. Ю. Общая теория пластичности с линейным упрочнением / А. Ю. Ишлинский. – Текст : непосредственный // Украинский математический журнал. – 1954. – Т. 6. – № 3. – С. 304–325.
133. Ишлинский, А. Ю. Прикладные задачи механики. В 2 книгах. Книга 1. Механика вязкопластических и не вполне упругих тел / А. Ю. Ишлинский. Москва : Наука, 1986. – 356 с. – Текст : непосредственный.
134. Ишлинский, А. Ю. Математическая теория пластичности / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 701 с. – Текст : непосредственный.
135. Кадашев, Ю. И. Теория пластичности, учитывающая остаточные микро-напряжения / Ю. И. Кадашев, В. В. Новожилов. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1958. – Т. 22. – № 1. – С. 78–89.
136. Ключников, В. Д. Математическая теория пластичности : учебное пособие для университетов по специальности «Механика» / В. Д. Ключников. – Москва : МГУ, 1997. – 207 с. – Текст : непосредственный.
137. Койтер, В. Общие теоремы теории упругопластических сред / В. Койтер. – Текст : непосредственный // Успехи механики твердого тела. Том 1 / под редакцией И. Снеддона и Р. Хилла ; перевод с английского В. И. Розенблюма ; под редакцией Г. С. Шапиро. – Москва : Изд-во иностранной литературы, 1961.
138. Коровин, И. М. Экспериментальное определение зависимости напряжение – деформация при сложном нагружении по траекториям с одной точки излома

- / И. М. Коровин. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1964. – № 3. – С. 592–600.
139. Кочин, Н. Е. Векторное исчисление и начало тензорного исчисления / Н. Е. Кочин. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1951. – 427 с. – Текст : непосредственный.
140. Кравчук, А. С. О методе последовательных приближений в теории пластичности при сложном нагружении / А. С. Кравчук. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1970. – № 4. – С. 188–191.
141. Кравчук, А. С. О теории пластичности для траекторий деформирования средней кривизны / А. С. Кравчук. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. Вып. 2. – Москва : МГУ, 1971. – С. 91–100.
142. Климов, Д. М. Вязкопластические течения : динамический хаос, устойчивость, перемешивание / Д. М. Климов, А. Г. Петров, Д. В. Георгиевский ; Российская академия наук ; Институт проблем механики. – Москва : Наука, 2005. – 394 с. – ISBN 5-02-032945-2. – Текст : непосредственный.
143. Ленский, В. С. Гипотеза локальной определенности в теории пластичности / В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1962. – № 5. – С. 154–158.
144. Ленский, В. С. Некоторые новые данные о пластичности металлов при сложном нагружении / В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1960. – С. 93–100.
145. Ленский, В. С. Современные вопросы и задачи пластичности в теоретическом и прикладном аспектах / В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. Вып. 5. – Москва : МГУ, 1978. – С. 65–93.
146. Ленский, В. С. Упрощенные варианты теории пластичности / В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1969. – Т. 5. – Вып. 3. – С. 18–22.
147. Ленский, В. С. Экспериментальная проверка законов изотропии и запаздывания при сложном нагружении / В. С. Ленский. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. – 1958. – С. 15–24.
148. Ленский, В. С. Экспериментальная проверка основных постулатов общей теории упругопластических деформаций / В. С. Ленский // Вопросы теории пластичности : сборник статей / ответственный редактор А. А. Ильюшин. – Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1961. – С. 58–82.
149. Ленский, В. С. Трехчленные соотношения общей теории пластичности / В. С. Ленский, Э. В. Ленский. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1985. – № 4. – С. 111–115.

150. Ленский, В. С. Проверка законов пластичности в трехмерном пространстве девиатора деформаций / В. С. Ленский, И. Д. Машков. – Текст : непосредственный // Упругость и неупругость : сборник статей. Вып. 2. – Москва : МГУ, 1971. – С. 158–167.
151. Лихачев, В. А. Структурно-аналитическая теория прочности / В. А. Лихачев, В. Г. Малинин. – Санкт-Петербург : Наука, 1993. – 470 с. – ISBN 5-02-024745-6. – Текст : непосредственный.
152. Малый, В. И. О подобии векторных свойств материалов в упругопластических процессах / В. И. Малый. – Текст : непосредственный // Прикладная механика. – 1978. – Т. 14. – № 3. – С. 19–27.
153. Малый, В. И. О разложении функционала напряжений по малому параметру / В. И. Малый. – Текст : непосредственный // Вестник МГУ. Математика и механика. – 1967. – № 2. – С. 73–80.
154. Маркин, А. А. Об изменении упругопластических свойств при конечном деформировании / А. А. Маркин. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1990. – № 2. – С. 120–126.
155. Матченко, Н. М. Общая задача теории идеальной пластичности анизотропных материалов / Н. М. Матченко, Л. А. Толоконников. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1973. – № 3. – С. 72–78.
156. Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – Москва : Наука, 1981. – 344 с. – Текст : непосредственный.
157. Надаи, А. Пластичность и разрушение твердых тел / А. Надаи. Москва : Изд-во иностранной литературы, 1954. – 647 с. – Текст : непосредственный.
158. Новожилов, В. В. И еще о постулате изотропии / В. В. Новожилов. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1962. – № 1. – С. 205–208.
159. Новожилов, В. В. Об одном направлении в теории пластичности (замечания по поводу полемики Д. Д. Ивлева с В. С. Ленским) / В. В. Новожилов. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. – 1961. – № 2. – С. 176–181.
160. Новожилов, В. В. О формах связи между напряжениями и деформациями в первоначально изотропных средах (геометрическая сторона вопроса) / В. В. Новожилов. – Текст : непосредственный // Прикладная математика и механика. – 1963. – Т. 27. – Вып. 5. – С. 794–812.
161. Некоторые экспериментальные данные об общем законе пластичности Ильюшина / И. Охаши, М. Токуда, И. Курита, Т. Сузуки. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1981. – № 6. – С. 53–64.
162. Теория пластичности : сборник статей / перевод с английского, французского и немецкого Л. А. Телешовой и Ю. А. Цвибак ; под редакцией Ю. Н. Работнова.

Москва : Государственное издательство иностранной литературы, 1948.– 452 с. – Текст : непосредственный.

163. Победря, Б. Е. К теории упругопластических процессов первоначально анизотропных сред / Б. Е. Победря. – Текст : непосредственный // Проблемы механики деформируемого твердого тела : сборник статей / под редакцией В. Г. Зубчанинова. – Калинин : КГУ, 1986. – С.16–24.

164. Поздеев, А. А. Большие упругопластические деформации : теория, алгоритмы, приложения : монография / А. А. Поздеев, П. В. Трусов, Ю. И. Няшин ; ответственный редактор В. В. Мошев. – Москва : Наука, 1986. – 232 с. – Текст : непосредственный.

165. Прагер, В. Теория идеально пластических тел / В. Прагер, Ф. Г. Ходж ; перевод с английского Н. А. Талицких ; под редакцией и с предисловием Г. С. Шапиро. – Москва : Изд-во иностранной литературы, 1956. – 398 с.

166. Саврасов, И. А. Проверка постулата изотропии в экспериментах по ортогональным траекториям деформирования в виде полуокружностей / И. А. Саврасов, В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – Витебск : ВГТУ, 2022. – С. 246–247.

167. Экспериментальное исследование стали 45 по траектории деформирования типа «змейка» / В. И. Гулятьев, И. А. Саврасов, В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – Витебск : ВГТУ, 2022. – С. 247–248.

168. Саврасов, И. А. Электромеханическая часть автоматизированного расчетно-испытательного комплекса СН-ЭВМ / И. А. Саврасов. – Текст : непосредственный // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». – 2022. – № 1 (13). – С. 56–60.

169. Экспериментальная проверка постулата изотропии на ортогональных криволинейных окружных траекториях / И. А. Саврасов, В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – Витебск : ВГТУ, 2021. – С. 297–298.

170. Методика экспериментального исследования пластичности поликристаллических материалов на испытательном комплексе СН-ЭВМ / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, И. А. Саврасов, А. А. Алексеев. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела : материалы IX Международного научного симпозиума, посвященного 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора В. Г. Зубчанинова / под редакцией

В. Г. Зубчанинова, А. А. Алексеева, В. И. Гулятьева. – Тверь : ТвГТУ, 2021. – С. 34–36.

171. Экспериментальная проверка постулата изотропии при деформировании стали 45 по ортогональным криволинейным траекториям постоянной кривизны // В. И. Гулятьев, А. А. Алексеев, И. А. Саврасов, В. В. Гараников. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 1 (47). – С. 86–94.

172. Экспериментальное исследование стали 45 по некоторой гладкой криволинейной траектории деформирования / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев, И. А. Саврасов. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 3 (49). – С. 33–41.

173. Проверка постулата изотропии при сложном кинематическом нагружении материала сталь 45 по траекториям деформирования в виде полуокружностей / В. И. Гулятьев, В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев, И. А. Саврасов. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2021. – № 4 (50). – С. 16–24.

174. Experimental verification of the isotropy postulate on orthogonal curved trajectories of constant curvature / V. I. Gulyaev, A. A. Alekseev, I. A. Savrasov, S. L. Subbotin. – Текст : непосредственный // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 151. – P. 315–321.

175. Саврасов, И. А. Образцы для испытаний на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ: химический анализ, средства измерения и материалы / И. А. Саврасов. – Текст : непосредственный // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». – 2021. – № 1 (9). – С. 86–90.

176. Проверка постулата изотропии при деформировании алюминиевого сплава В95 по прямолинейным траекториям с углом излома 135 градусов / В. Г. Зубчанинов, А. А. Алексеев, И. А. Саврасов [и др.]. – Текст : непосредственный // Авиационные двигатели. – 2023. – № 2 (19). – С. 37–42.

178. Соколовский, В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва ; Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 396 с. – Текст : непосредственный.

179. Тетерс, Г. А. О сложном нагружении материала при выпучивании оболочек в пластической области / Г. А. Тетерс. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук Латвийской ССР. – 1963. – № 5. – С. 44–50.

180. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Д. Н. Гудьер ; перевод с английского М. И. Рейтмана ; под редакцией Г. С. Шапиро. – Москва : Наука, 1975. – 575 с. – Текст : непосредственный.

181. Хилл, Р. Математическая теория пластичности / Р. Хилл ; перевод с английского Э. И. Григолюка. – Москва : Гостехиздат, 1956. – 407 с. – Текст : непосредственный.
182. Христианович, С. А. Деформация упрочняющегося пластического материала / С. А. Христианович. – Москва : [б. и.], 1973. – 92 с. – Текст : непосредственный.
183. Христианович, С. А. К теории идеальной пластичности / С. А. Христианович, Е. И. Шемякин // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1967. – № 4.
184. Христианович, С. А. О плоской деформации пластического материала при сложном нагружении / С. А. Христианович, Е. И. Шемякин. – Текст : непосредственный // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1969. – № 5. – С. 138–149.
185. Шевченко, Ю. Н. Термовязкопластические процессы сложного деформирования элементов конструкций / Ю. Н. Шевченко, М. Е. Бабешко, Р. Г. Терехов. – Киев: Наукова думка, 1992. – 326 с. – Текст : непосредственный.
186. Шевченко, Ю. Н. Физические уравнения термовязкопластичности / Ю. Н. Шевченко, Р. Г. Терехов. Киев: Наукова думка, 1982. – 240 с. – Текст : непосредственный.
187. Шемякин, Е. И. Вопросы прочности твердых тел и горных пород / Е. И. Шемякин. – Текст : непосредственный // Проблемы механики деформируемых твердых тел и горных пород : сборник статей к 75-летию Е. И. Шемякина / редколлегия: Д. Д. Ивлев, Н. Ф. Морозов (отв. ред.) [и др.]. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – С. 26–45. – ISBN 5-9221-0672-4.
188. Шемякин, Е. И. Синтетическая теории прочности. Часть I / Е. И. Шемякин. – Текст : непосредственный // Физическая мезомеханика. – 1999. – Т. 2. – № 6. – С. 63–69.
189. Бондарь, В. С. Математическое моделирование процессов ратчетинга при несимметричных циклических нагружениях / В. С. Бондарь, С. В. Бурчаков, В. В. Даншин. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2009. – Вып. 1. – С. 41–51.
190. Зубчанинов, В. Г. о проверке постулата изотропии в теории процессов сложного пластического деформирования / В. Г. Зубчанинов, В. И. Гулятьев. – Текст : электронный. – URL: <http://ppp.mech.unn.ru/index.php/ppp/article/download/100/87> (дата обращения: 21.01.2025).
191. Шемякин, Е. И. Синтетическая теории прочности. Часть II. О диссипативной функции в моделях упругопластических сред / Е. И. Шемякин. – Текст : непосредственный // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т. 3. – № 5. – С. 11–19.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования
«Тверской государственный технический
университет» (ТвГТУ)

Наб. А.Никитина, д.22, г.Тверь, 170026
Тел. (4822) 52-63-35, факс (4822) 52-62-92
E-mail: common@tstu.tver.ru
http://www.tstu.tver.ru
ОКПО 02068284, ОГРН 1026900533747,
ИНН/КПП 6902010135 / 695201001

№ _____
На № _____ от _____

Утверждаю

Проректор по учебной
работе ТвГТУ д.ф.н., доц.
Майкова Э.Ю.



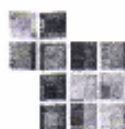
АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов кандидатской диссертации в учебный процесс

Мы, ниже подписавшиеся представители Тверского государственного технического университета, составили настоящий акт о том, что в учебный процесс при подготовке магистров по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (магистерская программа: направленность (профиль) подготовки – «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог»), а также подготовки аспирантов по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела», внедрена методика обработки и графического отображения базовых испытаний процессов сложного упругопластического деформирования материалов на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ в лаборатории механических испытаний кафедры «Сопротивления материалов, теория упругости и пластичности» Тверского государственного Технического университета. Указанные методики и алгоритмы расчётов являются частью кандидатской диссертации И.А.Саврасова на тему «ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ».

Декан ИСФ ТвГТУ, д.э.н., доцент
А.А.Артемов

Зав. кафедрой АДОиФ, д.т.н. доцент
В.И.Гультяев



ООО «ПромКонтроль»
ИНН/КПП 6950112955/695001001

«17» апреля 2023г. № ПК- 38/23



УТВЕРЖДАЮ

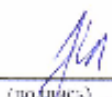
Генеральный директор Мекшун А.Е.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Мы нижеподписавшиеся представители ООО «ПромКонтроль» в лице генерального директора Мекшун А.Е., главного инженера проекта Никитина С.А. составили настоящий акт о том, что разработанные в данной диссертационной работе И.А.Саврасова «ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ» методы расчёта на прочность и деформируемость конструкционных материалов в изделиях, а также методы экспериментальных исследований этого материала по установлению достоверности полученных результатов, внедрены в производственную практику в данной организации и позволяют совершенствовать процесс проектирования элементов конструкций, выполняемых из материалов со сложными механическими свойствами.

Выполненные исследования являются частью диссертационного исследования И.А.Саврасова и соответствуют госбюджетной тематике: «Разработка математических моделей упругопластического деформирования материалов при сложном напряжённом состоянии и нагружении», разрабатываемой на кафедре «Сопротивления материалов, теория упругости и пластичности» Тверского государственного технического университета.

Главный инженер проекта


(подпись) /Никитин С.А./

Генеральный директор


(подпись) /Мекшун А.Е./

Приложение 3

R=	15,682	h=	0,975							
гз бв®С	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	35,93446	0,02638336	0,02097813	129	0,0244949	0,008485281	-0,00490732	35,78836	0,3343714	-3,219747
1	59,36455	0,04108627	0,04998926	156	0,03919184	0,01131371	-0,00490732	59,27623	0,3343714	-3,219747
1	93,9616	0,06118823	0,0796721	188	0,05878776	0,01697056	0	93,95147	0	1,379891
1	121,787	0,08158431	0,1139294	220	0,07838368	0,02262742	0	121,744	0,3343714	3,219747
1	142,3237	0,1036918	0,157467	252	0,09797959	0,03394112	0	142,2334	0,3343714	5,059602
1	162,8895	0,1168931	0,1920295	284	0,1126765	0,0311127	0	162,7228	0,3343714	7,359421
1	183,8418	0,1318181	0,2244549	316	0,1273735	0,03394112	0	183,712	0,3343714	6,899457
1	206,316	0,1454373	0,2504739	348	0,1420704	0,0311127	0	206,2003	0,3343714	6,899457
1	226,8584	0,1657951	0,2790744	380	0,1616663	0,03676955	0	226,6898	0,3343714	8,739312
1	244,3373	0,1820769	0,3141251	412	0,1763633	0,04525483	0	244,1807	0,3343714	8,739312
1	266,8279	0,1970178	0,3450347	444	0,1910602	0,04808326	0	266,6691	0,3343714	9,199276
1	285,8076	0,216074	0,3713151	476	0,2106561	0,04808326	0	285,6593	0,3343714	9,199276
1	302,7517	0,2323446	0,3950249	508	0,2253531	0,05656854	0	302,6505	0,3343714	7,819385
1	317,2183	0,2460408	0,4244188	540	0,24005	0,05374012	0,004907321	317,143	0,3343714	6,899457
1	332,1813	0,2609521	0,4507101	572	0,2547469	0,05656854	0	332,1353	0,3343714	5,519566
1	356,1338	0,2950796	0,5135569	636	0,2890398	0,05939697	0	356,1229	0,3343714	2,759783
1	374,6205	0,3282438	0,5727509	700	0,3233326	0,05656854	0	374,6133	0,3343714	2,299819
1	379,1137	0,3432084	0,5897214	732	0,3380296	0,05939697	0	379,111	0,3343714	1,379891
1	390,1066	0,373138	0,662348	796	0,3674235	0,06505383	0	390,1053	0,3343714	0,9199277
1	396,6021	0,3924487	0,7002288	828	0,3870194	0,06505383	0	396,602	0,3343714	0
1	398,6011	0,4109307	0,7228562	860	0,4066153	0,05939697	0	398,601	0,3343714	0
1	402,1017	0,4259109	0,7649693	892	0,4213122	0,06222539	-0,00490732	402,0992	0,3343714	-1,379891

R= 15,682 h= 0,975

гз бБ®€	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	406,0975	0,4408356	0,7945883	924	0,4360092	0,06505383	0	406,0971	0,3343714	-0,4599638
1	408,0972	0,4519823	0,8424685	956	0,4507061	0,03394112	0	408,0961	0,3343714	-0,9199277
1	411,0988	0,4707441	0,9062885	988	0,4654031	0,07071068	0	411,0945	0,3343714	-1,839855
1	413,1	0,490999	0,928916	1020	0,484999	0,07636753	-0,00490732	413,0934	0,3343714	-2,299819
1	416,1012	0,5050782	0,9608641	1052	0,4996959	0,07353911	0	416,0919	0,3343714	-2,759783
1	419,1029	0,5200307	0,9778346	1084	0,5143928	0,07636753	0	419,0904	0,3343714	-3,219747
1	419,6064	0,5341761	1,000462	1116	0,5290898	0,07353911	0	419,5901	0,3343714	-3,679711
1	421,6095	0,5552081	1,03879	1148	0,5486857	0,08485281	0	421,5891	0,3343714	-4,139674
1	425,1123	0,5737944	1,06739	1180	0,5682816	0,07919596	-0,00490732	425,0873	0,3343714	-4,599638
1	425,612	0,5895354	1,098525	1212	0,5829786	0,08768124	0	425,587	0,3343714	-4,599638
1	427,616	0,5984246	1,138083	1244	0,5927765	0,08202438	0	427,586	0,3343714	-5,059602
1	429,1208	0,6171159	1,173134	1276	0,6123725	0,07636753	0	429,0852	0,3343714	-5,519566
1	429,9276	0,6327844	1,200313	1308	0,6270694	0,08485281	0	429,8917	0,6687428	-5,519566
1	432,1318	0,6469868	1,222941	1340	0,6417663	0,08202438	0	432,0837	0,3343714	-6,439494
1	434,6236	0,6664293	1,241743	1372	0,6613622	0,08202438	0	434,5824	0,3343714	-5,97953
1	435,6296	0,680682	1,262378	1404	0,6760591	0,07919596	0	435,5818	0,3343714	-6,439494
1	438,128	0,700811	1,307949	1436	0,6956551	0,08485281	0	438,0806	0,3343714	-6,439494
1	439,1344	0,7164748	1,332724	1468	0,7103521	0,09333809	-0,00490732	439,0801	0,3343714	-6,899457
1	439,6341	0,7366302	1,366626	1500	0,7299479	0,09899495	0	439,5798	0,3343714	-6,899457
1	442,1324	0,7515904	1,399052	1532	0,7446449	0,1018234	0,004907321	442,0785	0,3343714	-6,899457
1	442,1399	0,7657833	1,430186	1564	0,7593418	0,09899495	0,004907321	442,0785	0,3343714	-7,359421
1	444,1386	0,7897139	1,505467	1628	0,7838367	0,09616652	0	444,0775	0,3343714	-7,359421
1	447,1366	0,8098593	1,528095	1660	0,8034326	0,1018234	0	447,0759	0,3343714	-7,359421
1	446,637	0,8234367	1,554863	1692	0,8181296	0,09333809	0	446,5762	0,3343714	-7,359421
1	448,1359	0,8442369	1,586801	1724	0,8377255	0,1046518	0	448,0754	0,3343714	-7,359421

R= 15,682		h= 0,975								
гз бБ®€	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	449,635	0,8539602	1,619226	1756	0,8475235	0,1046518	0	449,5746	0,3343714	-7,359421
1	452,1334	0,8741075	1,641853	1788	0,8671194	0,1103087	0	452,0733	0,3343714	-7,359421
1	453,1327	0,8883422	1,672275	1820	0,8818163	0,1074802	0	453,0728	0,3343714	-7,359421
1	453,6252	0,9026007	1,700559	1852	0,8965132	0,1046518	0	453,5726	0,3343714	-6,899457
1	454,4391	0,9227265	1,738887	1884	0,9161092	0,1103087	0	454,379	0,6687428	-7,359421
1	454,6245	0,9421847	1,769003	1916	0,9357051	0,1103087	0	454,572	0,3343714	-6,899457
1	456,6233	0,9525881	1,780317	1948	0,9455031	0,1159655	0	456,571	0,3343714	-6,899457
1	456,6381	0,9655837	1,807085	1980	0,9602	0,1018234	0	456,571	0,3343714	-7,819385
1	458,1371	0,9856734	1,837995	2012	0,9797959	0,1074802	0	458,0703	0,3343714	-7,819385
1	460,1282	1,001231	1,860622	2044	0,9944929	0,1159655	0	460,0692	0,3343714	-7,359421
1	461,1205	1,014897	1,877593	2076	1,00919	0,1074802	0	461,0687	0,3343714	-6,899457
1	461,6272	1,029221	1,914215	2108	1,023887	0,1046518	0	461,5684	0,3343714	-7,359421
1	463,6335	1,054469	1,943517	2140	1,048382	0,1131371	0	463,5674	0,3343714	-7,819385
1	463,933	1,06421	1,970286	2172	1,05818	0,1131371	0	463,8741	0,6687428	-7,359421
1	465,432	1,083697	2,002223	2204	1,077775	0,1131371	0	465,3733	0,6687428	-7,359421
1	467,1237	1,098027	2,025933	2236	1,092472	0,1103087	0	467,0656	0,3343714	-7,359421
1	467,9234	1,112935	2,062499	2268	1,107169	0,1131371	0	467,872	0,6687428	-6,899457
1	466,624	1,127844	2,07947	2300	1,121866	0,1159655	0	466,5659	0,3343714	-7,359421
1	468,1161	1,142755	2,102097	2332	1,136563	0,1187939	0	468,0651	0,3343714	-6,899457
1	470,1148	1,157086	2,126201	2364	1,15126	0,1159655	0	470,064	0,3343714	-6,899457
1	473,6196	1,177156	2,143172	2396	1,170856	0,1216224	0	473,5623	0,3343714	-7,359421
1	473,6196	1,190939	2,168424	2428	1,185553	0,1131371	0	473,5623	0,3343714	-7,359421
1	474,1192	1,210448	2,195193	2460	1,205149	0,1131371	0	474,062	0,3343714	-7,359421
1	475,6183	1,225904	2,226868	2492	1,219846	0,1216224	-0,00490732	475,5612	0,3343714	-7,359421
1	476,6176	1,255156	2,29094	2556	1,24924	0,1216224	0,004907321	476,5607	0,3343714	-7,359421

R= 15,682		h= 0,975								
гз бБ®€	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	476,6107	1,26899	2,32417	2588	1,263937	0,1131371	0	476,5607	0,3343714	-6,899457
1	477,1173	1,284405	2,356108	2620	1,278634	0,1216224	0	477,0604	0,3343714	-7,359421
1	478,6164	1,309058	2,392186	2652	1,303128	0,1244508	0	478,5597	0,3343714	-7,359421
1	480,1086	1,317792	2,418477	2684	1,312927	0,1131371	0	480,0589	0,3343714	-6,899457
1	480,9153	1,337807	2,449387	2716	1,332523	0,1187939	0	480,8653	0,6687428	-6,899457
1	482,607	1,352698	2,470021	2748	1,347219	0,1216224	0	482,5576	0,3343714	-6,899457
1	483,1135	1,367087	2,492648	2780	1,361916	0,1187939	0	483,0573	0,3343714	-7,359421
1	484,1129	1,38661	2,51376	2812	1,381512	0,1187939	0	484,0568	0,3343714	-7,359421
1	485,4192	1,405669	2,538219	2844	1,401108	0,1131371	0	485,363	0,6687428	-7,359421
1	487,6107	1,420555	2,559627	2876	1,415805	0,1159655	-0,00490732	487,555	0,3343714	-7,359421
1	487,111	1,435905	2,581149	2908	1,430502	0,1244508	0	487,0553	0,3343714	-7,359421
1	488,1104	1,449844	2,62022	2940	1,445199	0,1159655	0	488,0547	0,3343714	-7,359421
1	488,1104	1,464721	2,653239	2972	1,459896	0,1187939	0	488,0547	0,3343714	-7,359421
1	484,6198	1,483391	2,687181	3004	1,479492	0,1074802	0	484,5565	0,3343714	-7,819385
1	490,9229	1,498682	2,715109	3036	1,494189	0,1159655	0	490,8601	0,6687428	-7,819385
1	492,1224	1,513121	2,741045	3068	1,508886	0,1131371	0	492,0527	0,3343714	-8,279348
1	492,9216	1,52799	2,767813	3100	1,523583	0,1159655	0	492,8591	0,6687428	-7,819385
1	493,6215	1,54203	2,79044	3132	1,53828	0,1074802	0	493,5519	0,3343714	-8,279348
1	495,4275	1,561978	2,82135	3164	1,557876	0,1131371	0	495,3578	0,6687428	-8,279348
1	496,1124	1,571354	2,843977	3196	1,567673	0,1074802	0	496,0506	0,3343714	-7,819385
1	497,4187	1,586614	2,875914	3228	1,58237	0,1159655	0	497,3568	0,6687428	-7,819385
1	496,6121	1,606166	2,901167	3260	1,601966	0,1159655	-0,00490732	496,5504	0,3343714	-7,819385
1	499,1104	1,625704	2,929018	3292	1,621562	0,1159655	0	499,0491	0,3343714	-7,819385
1	497,5978	1,645658	2,999841	3356	1,641158	0,1216224	0	497,5498	0,3343714	-6,899457
1	496,1053	1,650338	3,027376	3406	1,646057	0,1187939	0	496,0506	0,3343714	-7,359421

R= 15,682 h= 0,975

гз бб®€	G MPa	Ƴ%	S %	Time	Ƴ1 %	Ƴ2 %	Ƴ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	495,6057	1,650338	3,055227	3438	1,646057	0,1187939	0	495,5509	0,3343714	-7,359421
1	494,9133	1,649941	3,060884	3496	1,646057	0,1131371	0	494,8581	0,6687428	-7,359421
1	494,6063	1,655437	3,072197	3528	1,650956	0,1216224	0,004907321	494,5514	0,3343714	-7,359421
1	494,6063	1,65543	3,084593	3560	1,650956	0,1216224	0	494,5514	0,3343714	-7,359421
1	393,9796	1,564933	3,15788	3592	1,562774	0,08202438	0,004907321	393,9102	0,6687428	-7,359421
1	265,2599	1,46578	3,28163	3624	1,464795	0,05374012	0	265,1699	0,3343714	-6,899457
1	155,4014	1,372143	3,37588	3656	1,371714	0,03394112	-0,00490732	155,2267	0,3343714	-7,359421
1	66,23689	1,288593	3,47178	3688	1,288432	0,01979899	-0,00490732	65,77287	0,3343714	-7,819385
1	14,37864	1,224758	3,545585	3720	1,224745	0,005656854	0	13,60667	0,6687428	-4,599638
1	7,306667	1,215036	3,576511	3752	1,214947	0	-0,01472196	6,303595	0,3343714	-3,679711
1	3,024953	1,166682	3,660457	3784	1,165957	-0,02262742	-0,03435124	-1,192533	0,3343714	2,759783
1	3,159661	1,166682	3,684976	3816	1,165957	-0,02262742	-0,03435124	-1,385583	0,6687428	2,759783

R= 15,44 h= 1,02

гз бб®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	44,44905	0,02518025	0,00748878	62	0,00489898	0,00282843	0,02453661	0	0	44,44905
1	70,75564	0,04452669	0,04517101	95	0,00489898	0,00282843	0,04416589	0	0	70,75564
1	92,07305	0,05915893	0,06813128	127	0	-0,00565685	0,05888785	0	0	92,07305
1	122,4626	0,07872065	0,1004123	159	0,00489898	-0,00282843	0,07851714	0,4851817	0	122,4617
1	142,8926	0,09375249	0,1228786	191	0,00489898	-0,00848528	0,0932391	2,425908	0	142,872
1	162,8641	0,1081092	0,140182	223	0,00489898	-0,00282843	0,1079611	3,396271	0	162,8287
1	180,5965	0,1230737	0,1639063	255	0,00489898	-0,00848528	0,122683	5,336998	0	180,5176
1	201,0269	0,1427613	0,189448	287	0,00979796	-0,00565685	0,1423123	6,307361	0	200,9279
1	234,0077	0,172963	0,2555668	351	0,01469694	-0,01414214	0,1717562	14,07027	0	233,5843
1	251,5694	0,1875903	0,2967952	383	0,01959592	-0,00565685	0,1864782	19,40727	0	250,8197

R= 15,44 h= 1,02

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	260,0727	0,2075772	0,3241689	415	0,0244949	0,00282843	0,2061075	23,7739	0	258,9838
1	258,3572	0,2179871	0,3523155	447	0,02939388	0,00565685	0,2159221	24,74426	0	257,1696
1	259,2602	0,2388566	0,3802588	479	0,03919184	0,00565685	0,2355514	24,74426	0	258,0767
1	264,2729	0,2533866	0,4132253	511	0,03429286	0,01979899	0,2502734	25,22944	0	263,0658
1	260,3549	0,2693669	0,4500313	543	0,04409081	0,01979899	0,2649953	26,68499	0	258,9838
1	261,2318	0,289695	0,4782762	575	0,0489898	0,02262742	0,2846246	30,56644	0	259,4373
1	260,8796	0,2999841	0,5020005	607	0,05388878	0,01979899	0,2944393	34,93308	0	258,5302
1	259,483	0,3166775	0,5275422	639	0,06368674	0,02545585	0,3091612	40,75526	0	256,2624
1	259,7444	0,3370567	0,555841	671	0,06858572	0,02828427	0,3287905	47,5478	0	255,3553
1	258,5538	0,3478814	0,5833901	703	0,0734847	0,0311127	0,3386052	52,8848	0	253,0875
1	259,0341	0,3601172	0,6089319	735	0,08328266	0,03676955	0,3484198	59,19216	0	252,1803
1	258,3078	0,3820001	0,6308242	767	0,09308061	0,04242641	0,3680491	63,5588	0	250,3661
1	260,3267	0,3970915	0,6672602	799	0,09797959	0,03959798	0,382771	71,3217	0	250,3661
1	261,1226	0,4159431	0,6853131	831	0,1126765	0,04808326	0,397493	75,68833	0	249,9126
1	264,8766	0,4264593	0,7243225	863	0,1224745	0,0311127	0,4073077	76,6587	0	253,541
1	259,6797	0,436723	0,7551757	895	0,1273735	0,02262742	0,4171223	75,20316	0	248,5518
1	260,2697	0,4539884	0,7920587	927	0,1371714	0,02828427	0,4318443	74,23279	0	249,459
1	263,5744	0,4704353	0,8176005	959	0,1469694	0,01697056	0,4465662	76,6587	0	252,1803
1	261,7068	0,4830854	0,8457236	991	0,1567674	0,02262742	0,4563809	80,54015	0	249,0054
1	262,8114	0,4999698	0,8768583	1023	0,1665653	0,01697056	0,4711028	85,39197	0	248,5518
1	263,408	0,534074	0,9354374	1087	0,1861612	0,00565685	0,5005468	94,61042	0	245,8305
1	262,6686	0,5404256	0,9674	1119	0,1910602	-0,00848528	0,5054541	99,46223	0	243,1091
1	265,4155	0,5595061	1,012362	1151	0,2057571	-0,01131371	0,5201761	103,3437	0	244,4698
1	264,2896	0,5698286	1,051921	1183	0,2204541	-0,01979899	0,5250834	105,7696	0	242,202
1	263,8296	0,5870313	1,093193	1215	0,230252	-0,01414214	0,5398053	107,7103	0	240,8413

R= 15,44 h= 1,02

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	263,3844	0,6062446	1,122574	1247	0,244949	-0,00565685	0,5545273	112,5621	0	238,1199
1	265,1763	0,6237537	1,150425	1279	0,2547469	-0,01131371	0,5692493	120,3251	0	236,3057
1	264,1968	0,6476035	1,183849	1313	0,2792418	-0,01979899	0,5839712	132,4546	0	228,5951
1	263,9179	0,7112104	1,251098	1351	0,3331306	-0,01697056	0,6281371	158,6544	0	210,9062
1	263,7425	0,7657028	1,31189	1383	0,3919184	-0,01697056	0,657581	180,9727	0	191,8566
1	263,7203	0,8216881	1,388324	1415	0,4507061	-0,00565685	0,687025	193,1023	0	179,6105
1	265,4851	0,8723577	1,457096	1447	0,5045949	0,00848528	0,7115616	205,717	0	167,8179
1	267,3066	0,9262138	1,518972	1479	0,5682816	0,01697056	0,7311909	216,391	0	156,9324
1	270,3998	0,9743927	1,591506	1511	0,6319684	0,0311127	0,7410055	229,0057	0	143,7791
1	271,9377	1,017512	1,653532	1543	0,6907561	0,04242641	0,7459128	237,2538	0	132,8936
1	276,5584	1,065887	1,725792	1575	0,7544429	0,05656854	0,7508201	248,413	0	121,5546
1	276,5373	1,108903	1,804276	1607	0,8230286	0,05656854	0,7410055	258,6018	0	97,96935
1	282,6857	1,161324	1,87408	1639	0,8916143	0,06788225	0,7410055	268,7906	0	87,53743
1	284,2972	1,190751	1,947101	1671	0,9455031	0,05939697	0,7213762	275,5832	0	69,84851
1	285,5573	1,233571	2,018094	1703	1,00919	0,06222539	0,7066543	280,9202	0	51,25248
1	289,0863	1,269042	2,084044	1735	1,067978	0,06788225	0,6821176	286,7423	0	36,73851
1	289,6548	1,303631	2,150058	1767	1,126765	0,06222539	0,6526737	289,1683	0	16,78179
1	291,6227	1,332375	2,219731	1799	1,180654	0,07071068	0,6134152	291,5941	0	-4,082056
1	292,4399	1,358643	2,286089	1831	1,229644	0,06505383	0,5741566	291,5941	0	-22,22453
1	291,6943	1,392839	2,373843	1871	1,288432	0,06505383	0,5250834	286,7423	0	-53,52029
1	293,8564	1,419212	2,432471	1903	1,337421	0,05939697	0,4711028	281,8905	0	-83,00181
1	294,1545	1,455843	2,571395	1967	1,406007	0,05939697	0,3729564	261,0277	0	-135,615
1	296,737	1,470559	2,638353	1999	1,435401	0,05939697	0,3140686	255,6907	0	-150,5825
1	299,1428	1,483962	2,709457	2031	1,459896	0,05656854	0,260088	250,3537	0	-163,7358
1	297,0801	1,488205	2,785895	2070	1,474593	0,04242641	0,1962928	239,6797	0	-175,5284

R=	15,44	h=	1,02							
гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	299,3473	1,494341	2,825855	2102	1,484391	0,04242641	0,1668489	233,8575	0	-186,8675
1	297,8561	1,495857	2,86864	2134	1,48929	0,04525483	0,1324977	225,1243	0	-195,0316
1	297,5928	1,498061	2,913763	2166	1,494189	0,0311127	0,1030537	217,8466	0	-202,7421
1	301,0747	1,501184	2,95733	2198	1,499088	0,03959798	0,06870249	213,9651	0	-211,8134
1	297,8837	1,499865	2,994964	2230	1,499088	0,03394112	0,03435124	205,717	0	-215,4418
1	299,3192	1,504317	3,031085	2262	1,503987	0,0311127	0,00490732	197,9541	0	-224,5131
1	298,6872	1,499644	3,072558	2294	1,499088	0,02828427	-0,02944393	191,1616	0	-229,5023
1	299,9687	1,495565	3,116061	2326	1,494189	0,02545585	-0,05888785	182,4283	0	-238,1199
1	297,9382	1,496928	3,160075	2358	1,494189	0,01979899	-0,08833178	170,2988	0	-244,4698
1	296,7856	1,494506	3,193614	2390	1,48929	0,02262742	-0,122683	158,6544	0	-250,8197
1	296,1629	1,492297	3,236113	2422	1,484391	0,01979899	-0,152127	148,4656	0	-256,2624
1	299,1303	1,491294	3,271166	2454	1,479492	0,01697056	-0,1864782	140,7027	0	-263,973
1	297,6963	1,480648	3,306218	2486	1,464795	0,00848528	-0,2159221	127,6028	0	-268,9621
1	295,1371	1,480383	3,352367	2518	1,459896	0,00565685	-0,2453661	117,414	0	-270,7764
1	296,1257	1,475951	3,390889	2550	1,450098	0,01131371	-0,27481	106,74	0	-276,2191
1	292,6748	1,4625	3,425941	2582	1,430502	0	-0,3042539	94,12524	0	-277,1263
1	293,1919	1,459412	3,45911	2614	1,420704	-0,01131371	-0,3336979	82,96606	0	-281,2083
1	295,3906	1,456901	3,502295	2646	1,410906	-0,00565685	-0,3631417	71,3217	0	-286,6511
1	292,1567	1,444412	3,544372	2678	1,39131	-0,01697056	-0,3876784	58,70698	0	-286,1975
1	292,8844	1,437075	3,593649	2710	1,376613	-0,01414214	-0,412215	48,03298	0	-288,9189
1	291,7123	1,43184	3,634602	2742	1,361916	-0,01697056	-0,4416589	36,87381	0	-289,3724
1	292,7378	1,420192	3,704453	2806	1,332523	-0,02262742	-0,4907321	19,40727	0	-292,0938
1	289,5518	1,394518	3,772482	3020	1,283533	-0,02262742	-0,5447127	-10,18882	0	-289,3724
1	286,3615	1,384388	3,815348	3097	1,263937	-0,02262742	-0,5643419	-24,74426	0	-285,2904
1	287,4041	1,372666	3,84962	3147	1,244341	-0,02262742	-0,5790639	-38,32935	0	-284,8368

R= 15,44 h= 1,02

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	286,0942	1,363523	3,880053	3179	1,229644	-0,01979899	-0,5888785	-47,5478	0	-282,1154
1	283,228	1,348388	3,913954	3211	1,210048	-0,03676955	-0,5937858	-56,28107	0	-277,5798
1	283,557	1,343981	3,93873	3243	1,20025	-0,03676955	-0,6036005	-62,10325	0	-276,6727
1	287,3047	1,339815	3,953707	3275	1,185553	-0,03394112	-0,6232298	-66,95507	0	-279,394
1	282,2915	1,322845	4,000989	3307	1,165957	-0,04525483	-0,6232298	-76,6587	0	-271,6835
1	284,6474	1,310922	4,047105	3347	1,141462	-0,04808326	-0,642859	-86,36234	0	-271,2299
1	284,7256	1,293057	4,088851	3379	1,112068	-0,05374012	-0,657581	-98,49187	0	-267,1479
1	286,0275	1,275815	4,137831	3411	1,082674	-0,05939697	-0,672303	-110,1362	0	-263,973
1	286,1867	1,258941	4,174267	3443	1,053281	-0,05939697	-0,687025	-120,8102	0	-259,4373
1	286,3717	1,236661	4,213347	3475	1,018988	-0,07353911	-0,6968396	-130,5139	0	-254,9017
1	286,561	1,222038	4,259101	3507	0,9944929	-0,07071068	-0,7066543	-140,2175	0	-249,9126
1	287,8512	1,20477	4,297846	3539	0,9650989	-0,08202438	-0,7164689	-147,4952	0	-247,1912
1	290,4981	1,179627	4,342247	3574	0,9259071	-0,08202438	-0,7262835	-161,0803	0	-241,7484
1	292,1103	1,140947	4,412481	3606	0,8622204	-0,09616652	-0,7410055	-176,6061	0	-232,6772
1	293,7816	1,098276	4,480535	3638	0,7985336	-0,1103087	-0,7459128	-192,1319	0	-222,2453
1	295,2388	1,057281	4,556781	3670	0,7348469	-0,1187939	-0,7508201	-204,2615	0	-213,1741
1	290,5864	1,007842	4,618068	3702	0,6711602	-0,1272792	-0,7410055	-223,6687	0	-185,5068
1	287,6838	0,9656585	4,689837	3734	0,6074734	-0,1470782	-0,7360982	-238,7094	0	-160,5609
1	286,6464	0,9166721	4,764174	3766	0,5437868	-0,1555635	-0,7213762	-252,7796	0	-135,1614
1	286,4617	0,8692069	4,830977	3798	0,484999	-0,1668772	-0,7017469	-263,4536	0	-112,4833
1	284,305	0,8210176	4,899851	3830	0,4262112	-0,1838478	-0,6772103	-271,2165	0	-85,26962
1	285,0692	0,7125909	5,044551	3894	0,3135347	-0,1979899	-0,6085078	-283,3461	0	-31,29576
1	287,756	0,6631016	5,103015	3926	0,2596459	-0,2064752	-0,5741566	-287,7127	0	-4,98918
1	287,5302	0,6062347	5,17862	3970	0,2106561	-0,2177889	-0,5250834	-285,772	0	31,74932
1	289,6963	0,541363	5,253483	4002	0,1616663	-0,212132	-0,4711028	-283,3461	0	60,32372

R= 15,44 h= 1,02

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	287,5667	0,4820966	5,328828	4034	0,1322725	-0,212132	-0,412215	-278,4943	0	71,66277
1	297,3912	0,4380732	5,402194	4066	0,08818163	-0,2206173	-0,3680491	-278,4943	0	104,3192
1	301,4151	0,3636351	5,483436	4108	0,05388878	-0,2064752	-0,2944393	-266,8499	0	140,1506
1	301,1768	0,321267	5,555444	4140	0,03919184	-0,2036468	-0,2453661	-254,2352	0	161,468
1	305,6658	0,2825958	5,611732	4194	0,0244949	-0,2064752	-0,1913855	-242,5908	0	185,9603
1	309,2412	0,24064	5,691664	4226	0,00489898	-0,2008183	-0,1324977	-229,4909	0	207,2777
1	308,4969	0,2025165	5,754165	4260	0	-0,1866762	-0,07851714	-207,6577	0	228,1416
1	309,12	0,1863293	5,802247	4292	0	-0,1810193	-0,04416589	-196,0134	0	239,0271
1	309,9861	0,181617	5,842206	4324	0	-0,1810193	-0,01472196	-183,3987	0	249,9126
1	308,6185	0,1753625	5,864417	4338	0	-0,1753625	0	-178,5468	0	251,7268
1	304,8474	0,1753625	5,881387	4362	0	-0,1753625	0	-179,032	0	246,7376
1	165,2558	0,1684281	5,958931	4401	0,03429286	-0,1499066	-0,06870249	-119,3547	0	114,2976
1	39,04187	0,1914766	6,100133	4433	0,1028786	-0,09899495	-0,1275903	-37,35899	0	11,33905
1	9,451455	0,200587	6,154262	4465	0,1322725	-0,08768124	-0,122683	-3,881453	0	8,617675
1	1,992505	0,2033895	6,188163	4497	0,1371714	-0,07919596	-0,1275903	-1,455545	0	1,360685
1	1,444599	8,129916	17,98078	4529	3,439084	-2,047781	-7,076357	-0,4851817	0	1,360685
1	1,028725	8,129916	27,58612	4561	3,439084	-2,047781	-7,076357	-0,4851817	0	0,9071236
1	1,028725	8,129916	27,58612	4593	3,439084	-2,047781	-7,076357	-0,4851817	0	0,9071236

R= 15,486 h= 1,048

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	26,53497	0,02039608	0,02465766	228	-0,01469694	-0,01414214	0	-3,295712	0	26,3295
1	44,55456	0,03187604	0,07274493	291	-0,0244949	-0,01979899	0,004907321	-9,887137	0	43,44368
1	72,29202	0,05418562	0,1036545	359	-0,0489898	-0,02262742	0,004907321	-41,43181	0	59,24138
1	94,75056	0,08722432	0,1544721	401	-0,08328266	-0,02545585	0,004907321	-72,50568	0	60,99669

R= 15,486 h= 1,048

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	118,8677	0,1213274	0,2128332	465	-0,1175755	-0,02828427	0,009814642	-101,2255	0	62,31316
1	128,8599	0,1341966	0,2414337	489	-0,1273735	-0,03959798	0,01472196	-112,0542	0	63,62963
1	149,5811	0,1529207	0,2682022	525	-0,1469694	-0,03959798	0,01472196	-132,7701	0	68,89553
1	181,8902	0,1917533	0,3102921	557	-0,1812622	-0,05939697	0,01962928	-163,844	0	78,98851
1	215,3215	0,2241494	0,3550194	589	-0,2106561	-0,07071068	0,02944393	-193,9762	0	93,46974
1	244,5002	0,2585599	0,3909974	621	-0,24005	-0,08768124	0,03925857	-222,696	0	100,9298
1	259,9369	0,3030543	0,447065	663	-0,2841408	-0,09050967	0,05398053	-252,3574	0	62,31316
1	258,2539	0,3296147	0,4958927	695	-0,3135347	-0,07919596	0,06379517	-252,8282	0	52,659
1	259,8504	0,3595476	0,5435511	727	-0,3429286	-0,06222539	0,08833178	-255,6531	0	46,51546
1	260,8584	0,40917	0,6080084	767	-0,3919184	-0,05656854	0,1030537	-257,0656	0	44,32133
1	260,3136	0,4682666	0,6785772	799	-0,4409081	-0,05656854	0,1472196	-256,124	0	46,51546
1	259,4194	0,5350945	0,7600395	831	-0,4947969	-0,08202438	0,1864782	-256,5948	0	38,17778
1	260,4695	0,5969897	0,8344354	863	-0,5388877	-0,1131371	0,2306441	-256,5948	0	44,76015
1	262,2108	0,6563915	0,9175503	895	-0,5780796	-0,1357645	0,2797173	-256,124	0	56,16961
1	263,1022	0,7232201	1,006719	927	-0,6221704	-0,1668772	0,3287905	-255,1823	0	64,06846
1	265,6369	0,7862763	1,087983	959	-0,6564633	-0,192333	0,3876784	-252,3574	0	82,93793
1	266,3996	0,8425105	1,163452	991	-0,6858571	-0,2206173	0,4367516	-248,1201	0	96,98034
1	265,9943	0,8917726	1,229611	1023	-0,7103521	-0,212132	0,4956394	-236,8205	0	121,1157
1	269,7766	0,9491592	1,301179	1055	-0,7299479	-0,2347594	0,5594347	-216,1046	0	161,4876
1	273,7178	0,9927188	1,371295	1087	-0,7446449	-0,2206173	0,6183224	-194,447	0	192,6442
1	272,4695	1,025759	1,464415	1140	-0,7495439	-0,1781909	0,6772103	-133,7118	0	237,4043
1	274,31	1,04742	1,509537	1172	-0,7495439	-0,1895046	0,7066543	-120,9997	0	246,1809
1	278,7349	1,073544	1,54459	1204	-0,7544429	-0,2036468	0,7360982	-110,6418	0	255,835
1	279,2649	1,094946	1,605742	1236	-0,7495439	-0,1895046	0,7753568	-103,5795	0	259,3456
1	282,8005	1,132797	1,691382	1300	-0,7446449	-0,1810193	0,8342445	-89,92587	0	268,1221

R= 15,486 h= 1,048

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	286,2267	1,167641	1,759898	1333	-0,7397459	-0,1895046	0,8833178	-83,33444	0	273,8268
1	284,8553	1,209178	1,833256	1365	-0,7348469	-0,1583919	0,947113	-66,85588	0	276,8986
1	284,8157	1,242026	1,910053	1397	-0,7103521	-0,1612204	1,006001	-49,9065	0	280,4092
1	282,9433	1,262502	1,962779	1434	-0,6907561	-0,1555635	1,045259	-34,36958	0	280,8481
1	280,6017	1,280429	1,9989	1466	-0,6809582	-0,1442498	1,074703	-24,48244	0	279,5316
1	274,7324	1,288993	2,03175	1501	-0,6711602	-0,1555635	1,089425	-16,00775	0	274,2657
1	276,7519	1,293148	2,065668	1533	-0,6662613	-0,1414214	1,09924	-12,71203	0	276,4598
1	279,6208	1,306311	2,093913	1565	-0,6662613	-0,1470782	1,113962	-7,062241	0	279,5316
1	282,6175	1,312173	2,125998	1597	-0,6564633	-0,1301077	1,128684	-2,824896	0	282,6033
1	276,9086	1,315782	2,161731	1629	-0,6466653	-0,1301077	1,138499	2,35408	0	276,8986
1	276,947	1,328902	2,199703	1661	-0,6417663	-0,1555635	1,15322	5,178977	0	276,8986
1	277,4273	1,336644	2,264668	1693	-0,6368673	-0,1301077	1,167942	7,062241	0	277,3374
1	277,9564	1,373961	2,362921	1874	-0,5927765	-0,1385929	1,231737	36,25284	0	275,5821
1	265,5122	1,386264	2,407018	1940	-0,5780796	-0,1470782	1,251367	52,7314	0	260,2233
1	265,2038	1,387678	2,461226	1982	-0,5633826	-0,1329361	1,261181	63,08936	0	257,5903
1	264,5577	1,380986	2,499554	2014	-0,5486857	-0,1244508	1,261181	70,62241	0	254,9574
1	266,852	1,38488	2,539815	2046	-0,5437868	-0,1385929	1,266089	74,38894	0	256,2738
1	268,914	1,388983	2,582263	2081	-0,5339888	-0,1272792	1,275903	77,21384	0	257,5903
1	270,4383	1,398314	2,613462	2113	-0,5241908	-0,1216224	1,290625	80,98036	0	258,0291
1	272,4055	1,402218	2,639753	2145	-0,5094939	-0,1244508	1,30044	83,33444	0	259,3456
1	274,5326	1,407818	2,672811	2177	-0,4996959	-0,1244508	1,310255	86,15934	0	260,6621
1	276,7717	1,413531	2,700662	2209	-0,4898979	-0,1244508	1,320069	91,80914	0	261,1009
1	280,7588	1,42722	2,769078	2279	-0,4605041	-0,1301077	1,344606	99,813	0	262,4174
1	280,4589	1,435655	2,815007	2311	-0,4311102	-0,1187939	1,364235	107,8169	0	258,9068
1	280,2174	1,442793	2,848238	2343	-0,4066153	-0,1216224	1,378957	118,1748	0	254,0797

R= 15,486 h= 1,048

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	281,3017	1,454707	2,906078	2375	-0,3821204	-0,1187939	1,398587	125,2371	0	251,8856
1	282,5922	1,463992	2,974751	2407	-0,3478276	-0,1046518	1,418216	135,595	0	247,9362
1	280,7977	1,466448	3,018797	2439	-0,3184336	-0,09899495	1,42803	146,4238	0	239,5985
1	280,326	1,475137	3,061073	2471	-0,2890398	-0,1046518	1,442752	155,8401	0	233,0161
1	280,8063	1,477511	3,091189	2506	-0,2547469	-0,09050967	1,452567	169,023	0	224,2396
1	282,5112	1,487474	3,170394	2538	-0,1910602	-0,09333809	1,472196	182,2058	0	215,9019
1	285,382	1,489581	3,239755	2570	-0,1273735	-0,07919596	1,482011	193,5054	0	209,7584
1	287,8983	1,505227	3,318286	2602	-0,06368674	-0,08202438	1,50164	205,2758	0	201,8595
1	289,1764	1,503174	3,388512	2634	0	-0,06788225	1,50164	217,9878	0	190,0113
1	284,9521	1,493958	3,455812	2666	0,06368674	-0,04808326	1,491826	228,8166	0	169,8253
1	288,9348	1,497937	3,527314	2698	0,1273735	-0,04525483	1,491826	241,0578	0	159,2935
1	287,5627	1,488961	3,600997	2730	0,1861612	-0,02262742	1,477104	250,945	0	140,424
1	287,9928	1,479667	3,672997	2762	0,2547469	-0,01697056	1,457474	259,4196	0	125,0651
1	284,9845	1,465933	3,749984	2794	0,3086357	-0,01979899	1,432938	266,0111	0	102,2462
1	285,3905	1,449657	3,813852	2826	0,3625245	-0,01697056	1,403494	273,0733	0	82,93793
1	285,3227	1,432544	3,884774	2858	0,4213122	-0,01131371	1,369143	277,3107	0	67,14024
1	285,9579	1,40764	3,950188	2890	0,475201	-0,00848528	1,324977	281,548	0	50,02606
1	287,2755	1,395744	4,020234	2922	0,5192918	-0,00565685	1,295533	284,8437	0	37,30013
1	286,4369	1,367941	4,088906	2954	0,5633826	-0,01414214	1,24646	285,7854	0	19,3083
1	286,2575	1,338294	4,165627	2986	0,6074734	0	1,192479	286,2562	0	0,8776501
1	287,5851	1,306949	4,237461	3018	0,6417663	-0,00848528	1,138499	287,1978	0	-14,92005
1	287,2938	1,2796	4,307833	3050	0,6711602	-0,00848528	1,089425	285,7854	0	-29,40128
1	277,3069	1,248819	4,371887	3091	0,6907561	-0,00848528	1,040352	273,0733	0	-48,27076
1	278,3072	1,236864	4,421918	3124	0,705453	-0,01697056	1,015815	268,3652	0	-73,72261
1	269,7278	1,193988	4,512872	3188	0,7201499	-0,02545585	0,9520203	240,1162	0	-122,871

R= 15,486 h= 1,048

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	270,3436	1,173155	4,552747	3220	0,7299479	-0,03676955	0,9176691	235,8789	0	-132,0863
1	269,457	1,16012	4,615789	3252	0,7397459	-0,0311127	0,8931324	228,3458	0	-143,057
1	269,8457	1,137169	4,653053	3284	0,7446449	-0,03394112	0,8587812	219,4003	0	-157,0994
1	269,2806	1,118295	4,696407	3316	0,7495439	-0,0311127	0,8293373	212,8089	0	-164,9982
1	271,78	1,093239	4,745962	3348	0,7495439	-0,03676955	0,794986	202,9217	0	-180,7959
1	268,4462	1,072227	4,801243	3380	0,7495439	-0,04242641	0,7655421	193,5054	0	-186,0618
1	270,6192	1,048221	4,842748	3412	0,7495439	-0,04808326	0,7311909	185,9724	0	-196,5936
1	269,3773	1,027432	4,89041	3444	0,7495439	-0,03676955	0,7017469	179,8517	0	-200,543
1	270,1874	1,004283	4,929924	3476	0,7495439	-0,03676955	0,6673957	171,377	0	-208,8807
1	269,5143	0,9818708	4,975425	3508	0,7446449	-0,05091169	0,6379517	164,7856	0	-213,269
1	271,9942	0,9562665	5,01129	3540	0,7397459	-0,05374012	0,6036005	155,8401	0	-222,9231
1	270,3674	0,9269201	5,049365	3572	0,7299479	-0,04808326	0,5692493	145,0114	0	-228,189
1	268,0398	0,9086297	5,091842	3604	0,725049	-0,05656854	0,5447127	133,241	0	-232,5773
1	270,3549	0,8763314	5,136859	3636	0,7103521	-0,05374012	0,5103614	125,2371	0	-239,5985
1	271,268	0,8494667	5,187157	3668	0,7005541	-0,06505383	0,4760101	114,8791	0	-245,742
1	273,2078	0,7983226	5,250508	3707	0,6760591	-0,07919596	0,4171223	92,27995	0	-257,1515
1	270,4915	0,7510632	5,31742	3739	0,6515642	-0,08768124	0,3631417	67,3267	0	-261,9785
1	267,9865	0,7230521	5,37081	3771	0,6270694	-0,09050967	0,3484198	47,55242	0	-263,7339
1	267,4126	0,6891826	5,421342	3810	0,6074734	-0,1018234	0,3091612	32,0155	0	-265,4892
1	269,1128	0,6670927	5,464402	3842	0,5927765	-0,09899495	0,2895319	23,06999	0	-268,1221
1	262,4114	0,6637603	5,495232	3874	0,5927765	-0,1046518	0,2797173	15,06611	0	-261,9785
1	266,6064	0,6479865	5,522605	3906	0,5829786	-0,09899495	0,2649953	11,29959	0	-266,3668
1	258,9684	0,6363999	5,550456	3972	0,5780796	-0,09050967	0,2502734	5,649793	0	-258,9068
1	255,8961	0,5851755	5,617989	4204	0,5388877	-0,07353911	0,2159221	-33,89876	0	-253,6409
1	261,0934	0,5600026	5,669227	4244	0,5192918	-0,07353911	0,1962928	-45,19834	0	-257,1515

R= 15,486 h= 1,048

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	260,9751	0,5425773	5,695245	4276	0,5045949	-0,07071068	0,1864782	-53,67303	0	-255,3962
1	263,5843	0,5259449	5,731334	4308	0,4898979	-0,07353911	0,1766636	-59,79364	0	-256,7126
1	265,3162	0,5119854	5,755044	4340	0,4801	-0,07353911	0,1619416	-63,56017	0	-257,5903
1	265,8285	0,4807095	5,793154	4378	0,4507061	-0,07919596	0,1472196	-78,15547	0	-254,0797
1	269,9537	0,4548622	5,838839	4410	0,4262112	-0,08768124	0,1324977	-86,15934	0	-255,835
1	269,8438	0,4247202	5,885936	4442	0,4017163	-0,07919596	0,1128684	-97,92974	0	-251,4467
1	271,6029	0,3902829	5,930858	4474	0,3674235	-0,08768124	0,09814642	-106,8753	0	-249,6915
1	273,4621	0,364351	5,981823	4506	0,3429286	-0,09050967	0,08342446	-117,2332	0	-247,0585
1	275,6039	0,3305995	6,032023	4538	0,3135347	-0,07919596	0,06870249	-129,0036	0	-243,5479
1	274,1516	0,3061695	6,076303	4570	0,2890398	-0,08202438	0,05888785	-139,3616	0	-236,0879
1	279,5593	0,2703454	6,114997	4602	0,2498479	-0,09333809	0,04416589	-149,7195	0	-236,0879
1	278,6505	0,2452672	6,160751	4634	0,2253531	-0,09050967	0,03435124	-158,665	0	-229,0667
1	281,9901	0,1849576	6,222452	4669	0,1616663	-0,08768124	0,01962928	-173,2603	0	-222,4843
1	287,7571	0,1525265	6,299346	4701	0,1077776	-0,1074802	0,009814642	-189,7389	0	-216,3408
1	290,7275	0,1198336	6,361879	4733	0,03919184	-0,1131371	0,004907321	-206,2174	0	-204,9313
1	286,782	0,1161726	6,440964	4763	0,00489898	-0,1159655	-0,00490732	-201,5093	0	-204,0536
1	285,5357	0,1160689	6,472926	4771	0,00489898	-0,1159655	0	-201,5093	0	-202,2984
1	286,2245	0,1244508	6,488381	4803	0	-0,1244508	0	-202,9217	0	-201,8595
1	123,4428	0,1802956	6,630275	4844	0,08818163	-0,1301077	0,08833178	-101,2255	0	-70,65083
1	17,89639	0,287538	6,776702	4876	0,1567674	-0,1527351	0,1864782	-17,89101	0	-0,4388251
1	0,9959606	0,3173629	6,846862	4908	0,1763633	-0,1583919	0,2110148	-0,4708161	0	-0,8776501
1	0,9959606	7,816278	10,85194	4940	3,297013	-2,35608	-6,683772	-0,4708161	0	-0,8776501
1	0,9959606	7,816278	18,64986	4972	3,297013	-2,35608	-6,683772	-0,4708161	0	-0,8776501
1	0,9959606	7,816278	18,66117	5004	3,297013	-2,35608	-6,683772	-0,4708161	0	-0,8776501

R= 15,505 h= 0,97

ГЗ БВ@C	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	21,29484	0,01697056	0	326	0,01469694	0,00848528	0	19,30598	0	-8,986064
1	55,09431	0,05091169	0,0692947	379	0,04409081	0,02545585	0	52,83743	0	-15,60737
1	78,40824	0,06542233	0,09407021	403	0,05878776	0,02828427	-0,00490732	76,20782	0	-18,44508
1	102,2268	0,08597864	0,1296712	435	0,07838368	0,03394112	-0,00981464	100,0863	0	-20,80983
1	125,4419	0,1080374	0,1626908	467	0,09797959	0,04525483	-0,00490732	123,4567	0	-22,22869
1	146,7132	0,1226054	0,1796614	499	0,1126765	0,04808326	-0,00490732	144,7949	0	-23,64754
1	167,4071	0,1375221	0,2041208	531	0,1273735	0,05091169	-0,00981464	164,1008	0	-33,10655
1	186,6898	0,1526065	0,2267482	563	0,1420704	0,05374012	-0,01472196	181,8827	0	-42,09261
1	207,8391	0,1693066	0,26065	595	0,1567674	0,06222539	-0,01472196	202,7128	0	-45,87622
1	228,4717	0,1865082	0,2919703	627	0,1714643	0,07071068	-0,01962928	222,0188	0	-53,91639
1	245,5892	0,2051976	0,3236462	659	0,1910602	0,07071068	-0,02453661	237,7684	0	-61,4836
1	259,475	0,2169676	0,3406168	691	0,2057571	0,06222539	-0,02944393	249,4536	0	-71,41557
1	268,6016	0,2302063	0,3726867	723	0,2204541	0,05939697	-0,02944393	257,5825	0	-76,14507
1	279,1338	0,2626123	0,4072907	760	0,2498479	0,07071068	-0,03925857	266,7274	0	-82,29343
1	288,7583	0,3011476	0,4507032	793	0,2890398	0,06505383	-0,05398053	270,7918	0	-100,2656
1	293,652	0,3574348	0,5212858	825	0,3429286	0,05656854	-0,08342446	267,7435	0	-120,6024
1	297,3056	0,4182287	0,5922632	857	0,4017163	0,02828427	-0,1128684	265,7113	0	-133,3721
1	299,4307	0,4744445	0,678939	889	0,4507061	-0,01697056	-0,1472196	264,1871	0	-140,9393
1	303,5963	0,5361683	0,7507586	921	0,4996959	-0,03394112	-0,1913855	260,1227	0	-156,5467
1	308,9727	0,6579386	0,9032021	985	0,5878776	-0,07919596	-0,2846246	249,9617	0	-181,6131
1	310,5764	0,7153812	0,9709393	1017	0,6270694	-0,08485281	-0,3336979	243,357	0	-192,9639
1	314,0656	0,7716104	1,039045	1049	0,6613622	-0,08768124	-0,3876784	235,2281	0	-208,0983
1	317,1227	0,8780865	1,180357	1113	0,7103521	-0,1046518	-0,5054541	212,8739	0	-235,0565
1	318,7229	0,931569	1,245658	1145	0,7299479	-0,1046518	-0,5692493	198,6484	0	-249,245

R= 15,505 h= 0,97

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	319,8527	0,9792452	1,319171	1177	0,7397459	-0,1046518	-0,6330444	175,786	0	-267,2172
1	323,7951	1,035946	1,394461	1209	0,7544429	-0,1074802	-0,7017469	166,6411	0	-277,6221
1	322,0286	1,070695	1,454828	1241	0,7495439	-0,1159655	-0,7557275	146,8271	0	-286,6082
1	321,8015	1,123824	1,524973	1273	0,7544429	-0,1187939	-0,8244299	124,9808	0	-296,5401
1	320,5807	1,166993	1,590854	1305	0,7446449	-0,1357645	-0,8882251	98,56212	0	-305,0532
1	319,802	1,19606	1,661038	1340	0,7299479	-0,1385929	-0,9372984	73,66756	0	-311,2016
1	320,3962	1,21545	1,698046	1372	0,715251	-0,1470782	-0,9716496	63,50652	0	-314,0393
1	319,0042	1,236633	1,731585	1404	0,7103521	-0,1499066	-1,001094	53,34547	0	-314,5122
1	317,662	1,253408	1,765124	1436	0,6956551	-0,1583919	-1,030537	41,15222	0	-314,9852
1	317,7511	1,273135	1,808363	1468	0,6858571	-0,1640488	-1,059981	38,10391	0	-315,4581
1	320,507	1,289199	1,849008	1500	0,6760591	-0,1697056	-1,084518	28,45092	0	-319,2418
1	318,5048	1,301428	1,889601	1536	0,6564633	-0,1810193	-1,109055	20,83014	0	-317,8229
1	315,4585	1,314787	1,915143	1568	0,6564633	-0,1866762	-1,123776	17,27377	0	-314,9852
1	317,1961	1,326609	1,932447	1600	0,6564633	-0,1810193	-1,138499	14,22546	0	-316,877
1	314,0409	1,339867	1,968503	1716	0,6368673	-0,192333	-1,163035	-1,016104	0	-314,0393
1	314,9458	1,363422	2,008677	1837	0,6221704	-0,1951615	-1,197386	-23,87845	0	-314,0393
1	318,876	1,374537	2,045941	1897	0,6074734	-0,1979899	-1,217016	-39,62807	0	-316,4041
1	319,0562	1,376416	2,075885	1929	0,5878776	-0,2093036	-1,22683	-50,80521	0	-314,9852
1	318,4981	1,37943	2,108973	1961	0,5731806	-0,212132	-1,236645	-58,42599	0	-313,0934
1	322,8282	1,393569	2,142768	1995	0,5535846	-0,212132	-1,261181	-68,58704	0	-315,4581
1	322,6804	1,409709	2,176562	2027	0,5388877	-0,2093036	-1,285718	-72,1434	0	-314,5122
1	322,5454	1,418516	2,215588	2070	0,5094939	-0,2206173	-1,305347	-91,44939	0	-309,3098
1	326,1802	1,423109	2,253631	2108	0,484999	-0,2177889	-1,320069	-102,1185	0	-309,7827
1	327,2805	1,43573	2,287902	2140	0,4654031	-0,2234457	-1,339699	-112,2795	0	-307,418
1	331,8939	1,462723	2,388642	2212	0,3870194	-0,2177889	-1,393679	-143,2707	0	-299,3778

R= 15,505 h= 0,97

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	332,7088	1,478345	2,459184	2244	0,3282316	-0,2291026	-1,423123	-168,1653	0	-287,0811
1	334,4242	1,495882	2,527956	2276	0,2694439	-0,2347594	-1,452567	-186,4551	0	-277,6221
1	334,4652	1,510405	2,594914	2308	0,2106561	-0,2347594	-1,477104	-207,2853	0	-262,4876
1	332,6876	1,514754	2,667636	2340	0,1420704	-0,25173	-1,486918	-229,1315	0	-241,2049
1	330,6132	1,520037	2,741884	2372	0,08328266	-0,25173	-1,496733	-248,9455	0	-217,5573
1	330,09	1,524145	2,805912	2404	0,01959592	-0,2602153	-1,50164	-264,6952	0	-197,2204
1	327,9555	1,53196	2,873996	2436	-0,04409081	-0,2743574	-1,506548	-279,4287	0	-171,6811
1	325,1031	1,521181	2,954337	2468	-0,1077776	-0,2771859	-1,491826	-291,1139	0	-144,7229
1	323,646	1,519001	3,020677	2500	-0,1714643	-0,2856711	-1,482011	-301,2749	0	-118,2377
1	320,1753	1,50879	3,087346	2532	-0,230252	-0,291328	-1,462382	-308,3877	0	-86,07703
1	321,7098	1,502605	3,156718	2564	-0,2939388	-0,2998133	-1,442752	-315,5004	0	-62,90245
1	323,0168	1,487194	3,227747	2596	-0,3527265	-0,2998133	-1,413309	-320,0728	0	-43,51147
1	324,0202	1,474946	3,290251	2628	-0,4066153	-0,3082986	-1,383865	-323,1212	0	-24,12049
1	324,6577	1,457099	3,361785	2660	-0,4605041	-0,2998133	-1,349513	-324,6453	0	-2,837704
1	324,5359	1,429699	3,427756	2692	-0,5094939	-0,3054701	-1,30044	-324,1373	0	16,08033
1	315,8137	1,411412	3,499565	2733	-0,5535846	-0,3082986	-1,261181	-308,8957	0	65,74015
1	320,0561	1,396216	3,549883	2765	-0,5731806	-0,3026417	-1,236645	-311,436	0	73,78031
1	320,9494	1,384066	3,594455	2797	-0,5927765	-0,3082986	-1,212108	-311,436	0	77,56392
1	323,7179	1,365755	3,63722	2829	-0,6123725	-0,3026417	-1,182664	-312,4521	0	84,65818
1	325,5777	1,346485	3,677394	2861	-0,6270694	-0,2998133	-1,15322	-313,4682	0	87,96883
1	327,5956	1,336194	3,722322	2893	-0,6466653	-0,3054701	-1,128684	-314,4843	0	91,75245
1	327,2896	1,320886	3,770174	2925	-0,6613622	-0,2969849	-1,104147	-312,4521	0	97,42785
1	315,5099	1,306081	3,81612	2975	-0,6760591	-0,2884996	-1,079611	-282,985	0	139,5205
1	321,4307	1,295065	3,842056	3007	-0,6858571	-0,2884996	-1,059981	-279,9367	0	157,9655
1	321,343	1,271162	3,885699	3039	-0,6956551	-0,2828427	-1,02563	-272,824	0	169,7893

R= 15,505 h= 0,97

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	320,6728	1,24308	3,995306	3112	-0,715251	-0,2828427	-0,9765569	-261,6469	0	185,3967
1	325,9966	1,229412	4,02287	3147	-0,7299479	-0,2856711	-0,947113	-254,0261	0	204,3147
1	323,2226	1,20546	4,060503	3179	-0,7348469	-0,2828427	-0,9127617	-242,8489	0	213,3008
1	323,3334	1,189431	4,096623	3211	-0,7446449	-0,2828427	-0,8833178	-231,1637	0	226,0704
1	323,3383	1,162786	4,150814	3243	-0,7446449	-0,2771859	-0,8489665	-222,5268	0	234,5836
1	323,6978	1,143987	4,194899	3275	-0,7495439	-0,2743574	-0,8195226	-217,4463	0	239,786
1	330,9915	1,116916	4,225855	3307	-0,7495439	-0,2630437	-0,7851714	-213,3819	0	253,0287
1	330,2559	1,093041	4,272408	3339	-0,7495439	-0,2630437	-0,7508201	-208,8094	0	255,8663
1	329,6638	1,074966	4,304879	3371	-0,7495439	-0,2573869	-0,7262835	-203,7289	0	259,177
1	331,7542	1,048841	4,340744	3403	-0,7495439	-0,2573869	-0,687025	-199,1564	0	265,3253
1	332,7221	1,024139	4,380333	3435	-0,7446449	-0,2489016	-0,657581	-191,0276	0	272,4196
1	331,1109	1,001165	4,424133	3467	-0,7397459	-0,2460732	-0,6281371	-185,439	0	274,3114
1	330,4576	0,9785712	4,450182	3499	-0,7348469	-0,2432447	-0,5986932	-174,7699	0	280,4598
1	331,1233	0,9534704	4,490142	3531	-0,7299479	-0,2404163	-0,5643419	-166,6411	0	286,1352
1	330,1629	0,9272776	4,522613	3563	-0,7201499	-0,2347594	-0,534898	-154,4478	0	291,8106
1	329,0891	0,8986852	4,562787	3595	-0,7103521	-0,2291026	-0,5005468	-139,7143	0	297,959
1	325,5709	0,8759508	4,602961	3627	-0,7005541	-0,2234457	-0,4760101	-119,9003	0	302,6885
1	322,8207	0,8455436	4,645846	3668	-0,6858571	-0,231931	-0,4367516	-97,03796	0	307,8909
1	322,8159	0,8178285	4,695836	3700	-0,6711602	-0,2291026	-0,4073077	-82,30444	0	312,1475
1	318,8496	0,7912835	4,739852	3732	-0,6564633	-0,2206173	-0,382771	-65,03068	0	312,1475
1	320,8439	0,7626953	4,780765	3764	-0,6417663	-0,212132	-0,3533271	-50,29716	0	316,877
1	321,4683	0,7349825	4,820939	3802	-0,6221704	-0,212132	-0,3287905	-33,53144	0	319,7147
1	317,0338	0,723513	4,850894	3834	-0,6172714	-0,2093036	-0,3140686	-26,41871	0	315,9311
1	318,4399	0,7054816	4,879192	3866	-0,6025745	-0,212132	-0,2993466	-19,81403	0	317,8229
1	318,0377	0,6942875	4,901659	3898	-0,5976755	-0,2093036	-0,2846246	-11,6852	0	317,8229

R= 15,505 h= 0,97

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	320,6622	0,6709261	4,952931	3962	-0,5829786	-0,2064752	-0,260088	1,016104	0	320,6606
1	317,3991	0,6568872	4,981484	3994	-0,5731806	-0,2008183	-0,2502734	5,588573	0	317,3499
1	314,8446	0,5927857	5,035673	4221	-0,5241908	-0,1951615	-0,1962928	47,7569	0	311,2016
1	313,3854	0,5775449	5,105305	4253	-0,5094939	-0,1979899	-0,1864782	58,42599	0	307,8909
1	310,1389	0,5640212	5,132483	4285	-0,4947969	-0,2008183	-0,1815709	67,57094	0	302,6885
1	314,2723	0,5472998	5,162614	4317	-0,484999	-0,1951615	-0,1619416	71,63535	0	305,9991
1	314,0821	0,5264711	5,180666	4349	-0,4654031	-0,1895046	-0,1570343	83,82861	0	302,6885
1	311,2328	0,5206214	5,208595	4381	-0,4556051	-0,2008183	-0,152127	94,4977	0	296,5401
1	313,3013	0,4984424	5,234072	4413	-0,4360092	-0,1951615	-0,1423123	101,1024	0	296,5401
1	313,9875	0,4948572	5,262195	4445	-0,4311102	-0,2036468	-0,1324977	107,199	0	295,1212
1	314,2826	0,4728585	5,29258	4477	-0,4115143	-0,1979899	-0,122683	114,3117	0	292,7565
1	317,3758	0,4576544	5,318058	4509	-0,3968174	-0,2008183	-0,1079611	121,4245	0	293,2294
1	315,1825	0,4462551	5,343599	4541	-0,3821204	-0,2036468	-0,1079611	129,0452	0	287,554
1	316,2444	0,4318768	5,373359	4573	-0,3723224	-0,1979899	-0,0932391	136,666	0	285,1893
1	314,2105	0,4195551	5,399651	4605	-0,3576255	-0,2008183	-0,08833178	140,7304	0	280,9327
1	314,9515	0,4036891	5,418453	4637	-0,3429286	-0,1979899	-0,07851714	147,8432	0	278,095
1	314,3909	0,388899	5,439087	4669	-0,3282316	-0,1951615	-0,07360981	154,4478	0	273,8385
1	312,1418	0,3722505	5,465378	4701	-0,3135347	-0,1866762	-0,07360981	160,5445	0	267,6901
1	313,3306	0,3587252	5,499348	4733	-0,2988378	-0,1895046	-0,05888785	168,1653	0	264,3795
1	312,8819	0,3412006	5,523057	4765	-0,2841408	-0,1810193	-0,05398053	175,278	0	259,177
1	310,8489	0,3298608	5,550591	4797	-0,2694439	-0,1838478	-0,04907321	181,8827	0	252,0827
1	311,5739	0,3211956	5,57505	4829	-0,2596459	-0,1838478	-0,04416589	186,9632	0	249,245
1	309,1664	0,2855381	5,642395	4893	-0,2204541	-0,1781909	-0,03435124	199,1564	0	236,4754
1	312,4147	0,2719466	5,663029	4925	-0,2057571	-0,1753625	-0,02944393	205,2531	0	235,5295
1	312,9844	0,2586001	5,689048	4957	-0,1910602	-0,1725341	-0,02453661	209,3175	0	232,6918

R= 15,505 h= 0,97

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	313,2912	0,2416636	5,71546	4989	-0,1763633	-0,1640488	-0,01962928	214,9061	0	227,9622
1	313,0372	0,2328105	5,742229	5021	-0,1616663	-0,1668772	-0,01472196	218,9705	0	223,7057
1	313,6188	0,2207459	5,777962	5053	-0,1469694	-0,1640488	-0,01472196	224,051	0	219,4491
1	312,6273	0,2034904	5,796764	5085	-0,1273735	-0,1583919	-0,00981464	228,1154	0	213,7737
1	314,5032	0,2014152	5,817875	5117	-0,1126765	-0,1668772	-0,00490732	233,704	0	210,4631
1	314,8047	0,1961022	5,850356	5149	-0,1028786	-0,1668772	-0,00490732	238,2765	0	205,7336
1	312,5623	0,1765222	5,884908	5181	-0,08328266	-0,1555635	-0,00490732	241,3248	0	198,6393
1	315,3175	0,1680952	5,920479	5213	-0,06368674	-0,1555635	0	246,4053	0	196,7475
1	313,4393	0,1603995	5,943107	5245	-0,0489898	-0,1527351	0	250,9778	0	187,7614
1	315,1635	0,1555378	5,976126	5277	-0,02939388	-0,1527351	0	255,5502	0	184,4508
1	313,6917	0,1427726	6,004726	5309	-0,01959592	-0,1414214	0	258,0905	0	178,3024
1	313,2768	0,1470782	6,030745	5340	0	-0,1470782	0	262,6629	0	170,7352
1	313,7933	0,1470782	6,051379	5343	0	-0,1470782	0	262,6629	0	171,6811
1	312,7787	0,1527351	6,078952	5373	0	-0,1527351	0	261,1388	0	172,1541
1	311,9308	0,1528139	6,107552	5415	0	-0,1527351	0,00490732	260,1227	0	172,1541
1	311,5073	0,1444163	6,132804	5452	0,00489898	-0,1442498	0,00490732	259,6147	0	172,1541
1	310,6609	0,1444163	6,149775	5516	0,00489898	-0,1442498	0,00490732	258,5985	0	172,1541
1	310,6609	0,1474859	6,168577	5548	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	258,5985	0	172,1541
1	310,6609	0,1500669	6,197177	5580	0,00489898	-0,1499066	0,00490732	258,5985	0	172,1541
1	310,6609	0,1474859	6,20849	5612	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	258,5985	0	172,1541
1	310,2382	0,1418453	6,238606	5676	0,00979796	-0,1414214	0,00490732	258,0905	0	172,1541
1	310,2382	0,1474859	6,254827	5708	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	258,0905	0	172,1541
1	310,2382	0,1531277	6,26614	5740	0,00979796	-0,1527351	0,00490732	258,0905	0	172,1541
1	309,5531	0,1417604	6,293674	5772	0,00979796	-0,1414214	0	257,5825	0	171,6811
1	309,8157	0,1474042	6,321602	5804	0,00979796	-0,1470782	0	257,5825	0	172,1541

R= 15,505 h= 0,97

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	309,8157	0,1418453	6,339655	5836	0,00979796	-0,1414214	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,8157	0,1531277	6,36029	5868	0,00979796	-0,1527351	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,8157	0,1418453	6,382916	5900	0,00979796	-0,1414214	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,8157	0,1474859	6,403551	5932	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,8157	0,1474859	6,424185	5964	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,8157	0,1474859	6,44407	5996	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,5825	0	172,1541
1	309,1305	0,1474859	6,46029	6028	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,0744	0	171,6811
1	309,3934	0,1531277	6,477261	6060	0,00979796	-0,1527351	0,00490732	257,0744	0	172,1541
1	308,7081	0,1474859	6,50097	6092	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	256,5663	0	171,6811
1	309,3934	0,1418453	6,512284	6129	0,00979796	-0,1414214	0,00490732	257,0744	0	172,1541
1	309,1305	0,1418453	6,533395	6161	0,00979796	-0,1414214	0,00490732	257,0744	0	171,6811
1	309,1305	0,1474859	6,560163	6194	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,0744	0	171,6811
1	309,1305	0,1474859	6,577133	6239	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	257,0744	0	171,6811
1	308,7081	0,1531277	6,588447	6344	0,00979796	-0,1527351	0,00490732	256,5663	0	171,6811
1	308,7081	0,1474859	6,61139	6376	0,00979796	-0,1470782	0,00490732	256,5663	0	171,6811
1	222,0905	0,1804964	6,660125	6408	-0,04409081	-0,1725341	-0,02944393	181,3746	0	128,1696
1	71,43482	0,2720278	6,808383	6440	-0,1322725	-0,2064752	-0,1177757	71,1273	0	6,62131
1	16,76572	0,3060181	6,882217	6472	-0,1763633	-0,2206173	-0,1177757	16,76572	0	0
1	4,948373	0,3167067	6,907759	6504	-0,1910602	-0,2234457	-0,1177757	4,572469	0	1,891803
1	1,793818	0,3167067	6,936706	6536	-0,1910602	-0,2234457	-0,1177757	1,524156	0	0,9459015
1	2,082353	7,719955	14,72649	6568	3,527265	1,928987	-6,590532	1,524156	0	1,418852
1	2,082353	7,584566	15,07721	6600	3,527265	-1,284106	-6,590532	1,524156	0	1,418852
1	2,082353	7,585526	17,95089	6632	3,527265	-1,289763	-6,590532	1,524156	0	1,418852
1	2,082353	7,585526	17,95089	6664	3,527265	-1,289763	-6,590532	1,524156	0	1,418852
1	2,082353	7,585526	17,95089	6696	3,527265	-1,289763	-6,590532	1,524156	0	1,418852

R=	15,43	h=	1,041							
№ участка	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	36,07229	0,02518025	0,02042814	54	-0,00489898	-0,00282843	-0,02453661	-1,427107	0	-36,04405
1	72,11321	0,04046276	0,05164117	90	-0,00489898	-0,00848528	-0,03925857	-1,902809	0	-72,0881
1	101,0403	0,05398053	0,08337218	122	0	0	-0,05398053	-2,378511	0	-101,0123
1	125,5192	0,07360981	0,1006756	154	0	0	-0,07360981	-2,854213	0	-125,4867
1	148,7752	0,08851273	0,137736	186	0	0,00565685	-0,08833178	-6,659831	0	-148,6261
1	174,3049	0,1081092	0,1581148	218	0	0,00565685	-0,1079611	-10,46545	0	-173,9904
1	195,9057	0,1235926	0,1743503	250	-0,00489898	0,01414214	-0,122683	-14,74677	0	-195,3499
1	216,2556	0,1382177	0,2126712	282	-0,00489898	0,01414214	-0,137405	-19,50379	0	-215,3743
1	235,0269	0,1528614	0,2400448	314	-0,00979796	0,01131371	-0,152127	-25,68792	0	-233,6189
1	245,5486	0,1680909	0,2655866	346	-0,01469694	0,01414214	-0,1668489	-32,34775	0	-243,4086
1	248,4917	0,1875903	0,2983222	378	-0,01959592	-0,00565685	-0,1864782	-37,58047	0	-245,6335
1	246,9019	0,2075772	0,3330047	410	-0,0244949	0,00282843	-0,2061075	-41,38609	0	-243,4086
1	247,5134	0,2228489	0,3574784	442	-0,02939388	-0,00565685	-0,2208295	-49,47303	0	-242,5186
1	245,9053	0,2373783	0,3778573	474	-0,02939388	0	-0,2355514	-58,03567	0	-238,9587
1	242,894	0,2533866	0,4197562	506	-0,03919184	-0,00565685	-0,2502734	-68,02541	0	-233,1739
1	243,6551	0,2638139	0,4403906	538	-0,04409081	0,00282843	-0,260088	-78,96656	0	-230,504
1	247,1126	0,2840313	0,4630325	570	-0,0489898	-0,00565685	-0,2797173	-91,33482	0	-229,614
1	247,0871	0,3004638	0,4975351	602	-0,05878776	-0,01131371	-0,2944393	-104,6545	0	-223,8291
1	247,5224	0,3267072	0,5562828	666	-0,06858572	-0,01697056	-0,3189759	-117,9741	0	-217,5993
1	247,4674	0,3417985	0,5882753	698	-0,0734847	-0,00848528	-0,3336979	-127,9639	0	-211,8144
1	248,3526	0,3585141	0,6300126	730	-0,08328266	-0,01414214	-0,3484198	-134,6237	0	-208,6995
1	248,8361	0,3907288	0,6725393	794	-0,09797959	-0,01697056	-0,3778637	-151,2733	0	-197,5748
1	248,027	0,4074647	0,7073378	826	-0,1077776	-0,01697056	-0,3925857	-158,8845	0	-190,455
1	250,9103	0,4242777	0,7356365	858	-0,1175755	-0,01697056	-0,4073077	-168,3986	0	-186,0051

R= 15,43 h= 1,041

№ участка	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	251,6649	0,4409773	0,7679517	890	-0,1273735	-0,01131371	-0,4220296	-177,9126	0	-177,9953
1	252,2252	0,4532477	0,7980823	922	-0,1371714	-0,01131371	-0,4318443	-185,5238	0	-170,8755
1	252,416	0,4640244	0,8251837	954	-0,1420704	-0,00848528	-0,4416589	-191,708	0	-164,2007
1	249,2666	0,4809943	0,8527329	986	-0,1518684	-0,00282843	-0,4563809	-197,4164	0	-152,186
1	249,7635	0,4980782	0,8707859	1018	-0,1616663	-0,00282843	-0,4711028	-205,5033	0	-141,9513
1	253,2271	0,5122359	0,9080589	1050	-0,1763633	0	-0,4809175	-214,066	0	-135,2764
1	254,4908	0,5294775	0,9412649	1082	-0,1861612	0,00565685	-0,4956394	-222,1529	0	-124,1517
1	252,7133	0,54214	0,9668067	1114	-0,1959592	0,00565685	-0,5054541	-226,91	0	-111,2471
1	249,4261	0,5594203	1,001489	1146	-0,2057571	0,00565685	-0,5201761	-230,7155	0	-94,78251
1	250,6455	0,5722605	1,035761	1178	-0,2155551	0,01131371	-0,5299907	-235,4726	0	-85,88274
1	253,0165	0,5914388	1,068201	1210	-0,230252	0,00848528	-0,5447127	-243,5595	0	-68,5282
1	250,5598	0,5997617	1,106895	1242	-0,24005	0,00282843	-0,5496199	-245,4623	0	-50,28368
1	251,0267	0,6127504	1,130999	1274	-0,2498479	0,00848528	-0,5594347	-247,3651	0	-42,71888
1	254,3424	0,6407644	1,159122	1313	-0,2743429	0	-0,5790639	-251,6465	0	-36,93403
1	256,8184	0,6735322	1,204648	1345	-0,2988378	-0,00282843	-0,6036005	-254,9764	0	-30,70419
1	256,7809	0,69785	1,240751	1377	-0,3233326	-0,01131371	-0,6183224	-255,9278	0	-20,91445
1	260,2485	0,7293219	1,277543	1409	-0,3527265	-0,02262742	-0,6379517	-258,782	0	-27,58928
1	261,8149	0,757342	1,323823	1441	-0,3821204	-0,03959798	-0,6526737	-258,3063	0	-42,71888
1	262,8837	0,7857181	1,368921	1473	-0,4115143	-0,05091169	-0,6673957	-255,9278	0	-60,07342
1	264,1414	0,8121702	1,41341	1505	-0,4360092	-0,06505383	-0,6821176	-255,4521	0	-67,19323
1	265,2921	0,8449671	1,458057	1537	-0,470302	-0,08485281	-0,6968396	-255,9278	0	-69,86316
1	267,7462	0,9164451	1,560054	1604	-0,5486857	-0,1357645	-0,7213762	-257,3549	0	-73,86806
1	270,3696	0,9729381	1,634979	1636	-0,6123725	-0,1725341	-0,7360982	-260,2091	0	-73,42307
1	272,5283	1,028227	1,714391	1668	-0,6760591	-0,2093036	-0,7459128	-263,539	0	-69,41817
1	277,6133	1,07863	1,783841	1700	-0,7397459	-0,2291026	-0,7508201	-269,2474	0	-67,63822

R= 15,43 h= 1,041

№ участка	G МПа	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 МПа	S2 МПа	S3 МПа
1	279,5051	1,134162	1,857582	1732	-0,8083316	-0,2630437	-0,7508201	-274,0045	0	-55,17855
1	282,4871	1,165669	1,934022	1764	-0,8671194	-0,2404163	-0,7410055	-280,6643	0	-32,03916
1	285,9758	1,206164	2,005322	1796	-0,9308061	-0,231931	-0,7311909	-285,4213	0	-17,79953
1	288,7516	1,239277	2,071524	1828	-0,9944929	-0,2177889	-0,7066543	-288,7512	0	-0,4449883
1	292,2929	1,274377	2,141619	1860	-1,053281	-0,2064752	-0,687025	-292,0811	0	11,12471
1	296,8701	1,308243	2,21915	1892	-1,112068	-0,1895046	-0,6624883	-296,3625	0	17,35454
1	299,1767	1,335185	2,283526	1924	-1,165957	-0,1866762	-0,6232298	-296,3625	0	40,93892
1	301,9085	1,363769	2,353209	1956	-1,214947	-0,192333	-0,5888785	-295,411	0	62,29836
1	305,6256	1,394541	2,419743	1988	-1,268836	-0,1951615	-0,5447127	-295,8867	0	76,53799
1	307,9417	1,414854	2,486032	2020	-1,308028	-0,2008183	-0,5005468	-292,5569	0	96,11747
1	311,4752	1,449983	2,559919	2052	-1,361916	-0,2093036	-0,4514735	-291,6054	0	109,4671
1	311,9753	1,461589	2,663976	2099	-1,396209	-0,2008183	-0,382771	-277,8101	0	141,9513
1	317,6223	1,481861	2,732653	2131	-1,430502	-0,2036468	-0,3287905	-274,0045	0	160,6408
1	321,3722	1,498441	2,791725	2174	-1,459896	-0,2093036	-0,2649953	-270,1989	0	173,9904
1	321,0755	1,499445	2,880146	2206	-1,469694	-0,2093036	-0,2110148	-257,8306	0	191,345
1	322,4069	1,511438	2,944624	2238	-1,48929	-0,2149605	-0,1423123	-244,9866	0	209,5895
1	323,9614	1,511476	3,012366	2270	-1,494189	-0,212132	-0,08342446	-235,4726	0	222,4941
1	324,3223	1,514549	3,07826	2302	-1,499088	-0,2149605	-0,01962928	-220,7258	0	237,6237
1	324,5185	1,514273	3,152222	2334	-1,499088	-0,2093036	0,04416589	-207,8819	0	249,1935
1	320,9364	1,512246	3,22605	2366	-1,494189	-0,2064752	0,1079611	-190,7566	0	258,0932
1	315,5353	1,507177	3,295706	2398	-1,484391	-0,2008183	0,1668489	-166,0201	0	268,3279
1	311,0037	1,497143	3,366455	2437	-1,464795	-0,2008183	0,2355514	-135,5751	0	279,8976
1	309,5504	1,493383	3,407482	2469	-1,454997	-0,2008183	0,2699026	-121,3041	0	284,7925
1	306,8087	1,47566	3,516106	2533	-1,425603	-0,2008183	0,3238832	-98,47035	0	290,5774
1	301,7486	1,473763	3,563288	2565	-1,415805	-0,2064752	0,3533271	-81,34507	0	290,5774

R= 15,43 h= 1,041

№ участка	G МПа	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 МПа	S2 МПа	S3 МПа
1	299,8469	1,466183	3,61163	2597	-1,401108	-0,2093036	0,3778637	-66,5983	0	292,3573
1	297,7137	1,460492	3,654344	2629	-1,386411	-0,212132	0,4073077	-51,37584	0	293,2473
1	294,643	1,449025	3,691788	2661	-1,366815	-0,212132	0,4318443	-36,62907	0	292,3573
1	293,4019	1,440785	3,723751	2696	-1,352118	-0,2093036	0,4514735	-24,73651	0	292,3573
1	295,1962	1,430553	3,747105	2728	-1,337421	-0,212132	0,4612882	-19,02809	0	294,5823
1	293,5943	1,429602	3,7914	2760	-1,332523	-0,2149605	0,4711028	-14,27107	0	293,2473
1	298,6724	1,437048	3,825942	2792	-1,332523	-0,2206173	0,4907321	-7,135533	0	298,5872
1	294,5827	1,426409	3,860167	2827	-1,317825	-0,2177889	0,5005468	0,4757022	0	294,5823
1	294,2238	1,424412	3,886991	2883	-1,308028	-0,2177889	0,5201761	7,135533	0	294,1373
1	292,5802	1,426695	3,912532	2936	-1,303128	-0,2262742	0,534898	11,41685	0	292,3573
1	289,2179	1,420523	3,945551	3003	-1,293331	-0,231931	0,5398053	22,358	0	288,3524
1	284,4862	1,396675	4,008841	3152	-1,254139	-0,231931	0,5692493	53,27864	0	279,4526
1	281,9563	1,383667	4,054546	3233	-1,224745	-0,2489016	0,5937858	71,35533	0	272,7778
1	277,9715	1,368492	4,102367	3265	-1,205149	-0,2489016	0,5986932	83,24788	0	265,213
1	279,6167	1,353612	4,135087	3298	-1,185553	-0,2375879	0,6085078	89,90771	0	264,768
1	277,5113	1,342819	4,173684	3330	-1,161058	-0,2460732	0,6281371	100,8489	0	258,5382
1	274,9112	1,325921	4,219796	3362	-1,131664	-0,2404163	0,6477664	114,1685	0	250,0834
1	271,353	1,309367	4,258123	3394	-1,10227	-0,2460732	0,6624883	126,0611	0	240,2937
1	272,6037	1,291309	4,304329	3426	-1,072876	-0,2404163	0,6772103	137,4779	0	235,3988
1	273,0043	1,269602	4,339747	3465	-1,033685	-0,2404163	0,6968396	151,749	0	226,944
1	270,4485	1,233512	4,419307	3497	-0,9748969	-0,2404163	0,7164689	169,8257	0	210,4795
1	272,9319	1,152029	4,554199	3561	-0,8475235	-0,2291026	0,7459128	199,3192	0	186,4501
1	273,3472	1,108752	4,622409	3593	-0,7838367	-0,2262742	0,7508201	212,6389	0	171,7655
1	275,058	1,065286	4,688909	3625	-0,7201499	-0,2291026	0,7508201	225,4828	0	157,5259
1	276,8617	1,014078	4,756209	3657	-0,6515642	-0,2177889	0,7459128	236,8997	0	143,2862

R= 15,43 h= 1,041

№ участка	G MPa	Э%	S %	Time	Э1 %	Э2 %	Э3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	276,3477	0,9698744	4,826005	3689	-0,5927765	-0,2177889	0,7360982	246,8894	0	124,1517
1	275,7469	0,9162269	4,894814	3721	-0,5290898	-0,2149605	0,7164689	256,4035	0	101,4573
1	276,0975	0,8697134	4,961647	3753	-0,475201	-0,212132	0,6968396	263,539	0	82,32284
1	277,3977	0,8141298	5,031553	3785	-0,4115143	-0,2036468	0,672303	269,2474	0	66,74825
1	277,0536	0,7625561	5,104089	3817	-0,3576255	-0,2008183	0,642859	273,5287	0	44,05384
1	275,8468	0,6954492	5,173713	3849	-0,2988378	-0,1895046	0,5986932	275,4316	0	15,1296
1	273,4241	0,6467038	5,249109	3881	-0,2547469	-0,1866762	0,5643419	273,053	0	-14,23963
1	276,5135	0,5871347	5,311779	3915	-0,2008582	-0,1838478	0,5201761	273,053	0	-43,60886
1	276,4486	0,5271071	5,396608	3947	-0,1616663	-0,1725341	0,4711028	267,8203	0	-68,5282
1	277,9803	0,4633456	5,461706	3979	-0,1224745	-0,1725341	0,412215	261,1605	0	-95,22749
1	278,6988	0,4080783	5,537794	4011	-0,09308061	-0,1612204	0,3631417	253,5493	0	-115,697
1	281,9305	0,3454771	5,60826	4043	-0,05878776	-0,1527351	0,3042539	247,8408	0	-134,3865
1	283,0981	0,2859029	5,671416	4075	-0,03919184	-0,1414214	0,2453661	239,2782	0	-151,296
1	282,6973	0,2367276	5,746875	4112	-0,0244949	-0,1499066	0,1815709	224,5314	0	-171,7655
1	283,6837	0,2115556	5,796272	4144	-0,00979796	-0,1414214	0,1570343	218,3473	0	-181,1102
1	289,3603	0,1698962	5,854121	4182	-0,00489898	-0,1385929	0,09814642	204,0762	0	-205,1396
1	290,6827	0,1473056	5,924672	4214	0,00489898	-0,1442498	0,02944393	182,1939	0	-226,4991
1	287,7987	0,1470782	5,979556	4233	0	-0,1470782	0	171,7285	0	-230,9489
1	286,7285	0,1330263	6,028464	4237	0,00489898	-0,1329361	0	171,7285	0	-229,614
1	283,4663	0,1470782	6,063251	4267	0	-0,1470782	0	172,2042	0	-225,1641
1	68,72502	0,2332705	6,199844	4320	-0,08818163	-0,1810193	0,1177757	57,08426	0	-38,26899
1	15,32618	0,2750942	6,270352	4352	-0,1273735	-0,1979899	0,1423123	15,22247	0	-1,779953
1	1,639299	0,2878833	6,327214	4416	-0,1371714	-0,2093036	0,1423123	0,9514044	0	1,334965
1	2,275227	8,035724	14,59	4448	3,581154	-2,084551	-6,884972	0,4757022	0	2,224941
2	2,275227	7,856679	19,76036	4501	3,581154	-1,224709	-6,884972	0,4757022	0	2,224941

R= 15,475 h= 1,05

ГЗ БВ®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	64,68314	0,04424065	0,04580337	94	-0,00489898	0,01979899	0,03925857	5,172787	0	64,47598
1	112,4192	0,07554075	0,09921271	158	0	0,01697056	0,07360981	15,04811	0	111,4075
1	153,31	0,107313	0,1852543	222	0,00979796	0,02828427	0,1030537	35,56236	0,3063894	149,1281
1	192,6767	0,1396697	0,2499337	286	0,0244949	0,03676955	0,1324977	59,25192	0	183,3399
1	231,4098	0,1737615	0,3017667	350	0,0489898	0,03959798	0,1619416	102,5152	0	207,4635
1	240,4579	0,2035439	0,3955832	414	0,07838368	0,02262742	0,1864782	134,7858	0,3063894	199,1299
1	242,1263	0,2336842	0,464628	478	0,1077776	0,02262742	0,2061075	149,0703	0	190,7963
1	245,0619	0,2581737	0,5349712	542	0,1322725	0,01979899	0,2208295	165,5292	0	180,7082
1	244,9667	0,2829496	0,5958391	606	0,1567674	0	0,2355514	179,9301	0,3063894	166,234
1	242,9244	0,3109928	0,6574062	670	0,1910602	-0,00282843	0,2453661	189,3352	0,3063894	152,1984
1	242,2332	0,3605734	0,745671	740	0,2547469	0	0,2551807	208,7925	0	122,8114
1	243,0944	0,4039361	0,8326077	808	0,3233326	-0,02828427	0,2404587	229,3067	0,3063894	80,70462
1	237,3113	0,4657639	0,9704277	876	0,4262112	-0,04808326	0,1815709	237,301	0,3063894	-2,19306
1	235,0752	0,4825138	1,04619	940	0,4605041	-0,05656854	0,1324977	229,3067	0,3063894	-51,75622
1	232,4812	0,4973048	1,145396	1004	0,4898979	-0,05091169	0,06870249	211,9073	0,3063894	-95,61743
1	230,1461	0,5024984	1,230823	1072	0,4996959	-0,05091169	0,01472196	183,3988	0	-139,04
2	233,9504	0,5075434	1,27335	1130	0,5045949	-0,05374012	-0,00981464	167,2333	0,3063894	-163,6023
2	235,8876	0,5110354	1,322122	1194	0,5045949	-0,07071068	-0,03925857	152,6554	0,3063894	-179,8309
2	243,5791	0,5172079	1,417859	1258	0,5094939	-0,05656854	-0,06870249	145,1314	0,3063894	-195,621
2	249,8227	0,5373486	1,488518	1322	0,5241908	-0,04808326	-0,1079611	146,719	0	-202,2002
2	250,1624	0,5590739	1,569712	1386	0,5388877	-0,06788225	-0,1324977	151,4216	0	-199,1299
2	251,944	0,6109206	1,779939	1514	0,5829786	-0,01979899	-0,1815709	178,226	0	-178,0765
2	251,6724	0,6345037	1,836841	1578	0,6025745	-0,0311127	-0,1962928	188,5716	0	-166,6726
2	256,0497	0,6724986	1,937694	1642	0,6368673	0,005656854	-0,2159221	197,3295	0,3063894	-163,1637

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	257,1488	0,6989686	2,032423	1706	0,6613622	-0,01414214	-0,2257368	205,971	0	-153,9528
2	258,9178	0,7298633	2,123488	1770	0,6907561	-0,00848528	-0,2355514	213,7884	0,3063894	-146,0578
2	262,2072	0,7644059	2,207284	1834	0,725049	0,02828427	-0,2404587	223,6637	0,3063894	-136,847
2	262,6149	0,7940658	2,265157	1898	0,7544429	0,03394112	-0,2453661	230,7175	0,3063894	-125,443
2	264,4314	0,8213626	2,330183	1962	0,7838367	0,005656854	-0,2453661	237,301	0,3063894	-116,6708
2	263,08	0,8530583	2,451677	2026	0,8181296	0,05374012	-0,2355514	245,7656	0,3063894	-93,86298
2	264,4113	0,8778411	2,570551	2090	0,8475235	0,03676955	-0,2257368	252,3491	0,3063894	-78,95017
2	262,7687	0,9029459	2,621345	2154	0,8769174	0,04242641	-0,2110148	256,1112	0,3063894	-58,77402
2	263,5783	0,9272693	2,698408	2218	0,9063112	0,04242641	-0,1913855	260,9906	0	-36,84341
2	260,9984	0,9420468	2,782554	2282	0,9259071	0,02545585	-0,1717562	260,5204	0	-15,79003
2	261,0735	0,9641294	2,881564	2346	0,950402	0,06788225	-0,1472196	260,9906	0	6,579181
2	262,7241	0,9931161	2,94123	2415	0,9846949	0,07071068	-0,1079611	259,8732	0,3063894	38,59786
2	255,4907	0,9982105	3,051227	2479	0,9944929	0,07071068	-0,04907321	240,5928	0,3063894	85,96796
3	251,0211	1,001004	3,118561	2543	0,9993918	0,05656854	-0,00490732	219,9017	0,3063894	121,0569
3	254,3099	1,006314	3,173498	2607	1,004291	0,05374012	0,03435124	213,7884	0,3063894	137,7242
3	254,2694	1,00745	3,217586	2671	1,004291	0,05374012	0,05888785	207,2048	0,3063894	147,3737
3	258,4373	1,024807	3,275839	2735	1,018988	0,05656854	0,0932391	206,2643	0,3063894	155,7073
3	263,7679	1,042326	3,329246	2799	1,033685	0,05374012	0,122683	208,6156	0,3063894	161,4092
3	269,4068	1,060584	3,378497	2863	1,048382	0,05091169	0,152127	210,9668	0,3063894	167,5498
3	271,765	1,088945	3,43987	2927	1,072876	0,05939697	0,1766636	215,6694	0,3063894	165,3568
3	277,492	1,117097	3,521015	2991	1,097371	0,05656854	0,2012002	224,1339	0,3063894	163,6023
3	280,989	1,143999	3,577006	3055	1,121866	0,05939697	0,2159221	232,1283	0,3063894	158,339
3	286,8435	1,206965	3,679331	3183	1,180654	0,07071068	0,2404587	247,6466	0,3063894	144,742
3	289,1483	1,236698	3,746646	3247	1,210048	0,07071068	0,2453661	256,1112	0,3063894	134,2153
3	293,339	1,271389	3,788076	3311	1,244341	0,07353911	0,2502734	265,9865	0,3063894	123,6886

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	293,8563	1,300503	3,842651	3375	1,273735	0,07919596	0,2502734	272,2767	0	110,5302
3	295,7102	1,333367	3,891298	3439	1,308028	0,08202438	0,2453661	280,5643	0,3063894	93,42437
3	297,9117	1,36121	3,945454	3503	1,337421	0,09333809	0,2355514	287,6181	0,3063894	77,63434
3	298,3423	1,388074	4,004215	3567	1,366815	0,09899495	0,2208295	293,2612	0,3063894	54,82651
3	297,7399	1,414423	4,058356	3631	1,396209	0,09333809	0,2061075	295,6125	0,3063894	35,52758
3	297,747	1,436504	4,113201	3695	1,420704	0,1018234	0,1864782	297,4934	0,3063894	12,28114
3	298,1991	1,452948	4,163517	3759	1,4403	0,1018234	0,1619416	297,9637	0,3063894	-11,84253
3	297,6129	1,474552	4,210087	3823	1,464795	0,09899495	0,137405	295,7893	0	-32,8959
3	293,0465	1,48185	4,272482	3887	1,474593	0,09899495	0,1079611	287,6181	0,3063894	-56,14234
3	296,7757	1,49483	4,307344	3951	1,48929	0,1018234	0,07851714	286,6776	0,3063894	-76,75711
3	293,132	1,498268	4,355096	4015	1,494189	0,09899495	0,04907321	276,3321	0,3063894	-97,81049
3	292,433	1,502241	4,410018	4079	1,499088	0,09616652	0,01472196	264,5757	0,3063894	-124,5658
4	291,3834	1,50189	4,463528	4139	1,499088	0,09050967	-0,01472196	251,8789	0,3063894	-146,4964
4	289,2552	1,506869	4,51883	4203	1,503987	0,08202438	-0,04416589	238,2415	0,3063894	-164,0409
4	293,0633	1,512755	4,57117	4267	1,508886	0,07919596	-0,07360981	230,7175	0,3063894	-180,7082
4	297,9905	1,529604	4,631509	4331	1,523583	0,08202438	-0,1079611	227,4257	0,3063894	-192,5507
4	299,8428	1,546005	4,682592	4395	1,53828	0,07919596	-0,1324977	228,3662	0,3063894	-194,3051
4	306,3397	1,568271	4,741153	4459	1,557876	0,07919596	-0,1619416	231,658	0,3063894	-200,4457
4	307,0924	1,58986	4,798958	4523	1,577471	0,07919596	-0,1815709	236,3605	0,3063894	-196,0596
4	310,7621	1,616931	4,866582	4587	1,601966	0,08768124	-0,2012002	245,2953	0,3063894	-190,7963
4	315,1108	1,648572	4,925903	4651	1,63136	0,08768124	-0,2208295	254,7004	0,3063894	-185,5329
4	318,6347	1,679666	4,977736	4715	1,660754	0,08768124	-0,2355514	263,6352	0,3063894	-178,9537
4	324,5761	1,739171	5,074486	4843	1,719542	0,08768124	-0,2453661	285,2669	0,3063894	-154,8301
4	328,1324	1,802597	5,146661	4914	1,783229	0,09616652	-0,2453661	300,7852	0,3063894	-131,145
4	327,1518	1,85919	5,219541	4978	1,842016	0,1018234	-0,2306441	313,6589	0	-92,98576

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	326,7558	1,914133	5,302937	5042	1,900804	0,1018234	-0,2012002	322,4169	0,3063894	-53,07206
4	324,9249	1,953734	5,378386	5106	1,944895	0,09899495	-0,1570343	324,7681	0,3063894	-10,08808
4	318,078	1,979204	5,47261	5177	1,974289	0,09899495	-0,09814642	315,8333	0,3063894	37,72064
4	316,722	2,00624	5,547513	5246	2,003683	0,09333809	-0,03925857	304,077	0,3063894	88,59964
5	306,2679	2,000584	5,625444	5303	1,998784	0,08485281	0	282,4453	0,3063894	118,4253
5	309,6958	2,005432	5,681435	5367	2,003683	0,07636753	0,03435124	275,3915	0,3063894	141,6717
5	309,147	2,010939	5,738804	5431	2,008582	0,07353911	0,06379517	268,3378	0,3063894	153,5142
5	309,9818	2,021672	5,787561	5495	2,018379	0,06788225	0,0932391	264,1055	0,3063894	162,2865
5	313,9616	2,038002	5,84508	5559	2,033077	0,07071068	0,122683	265,5162	0,3063894	167,5498
5	318,4781	2,05418	5,888674	5623	2,047773	0,06788225	0,1472196	269,7485	0,3063894	169,3043
5	322,1162	2,080576	5,9417	5687	2,072268	0,07071068	0,1717562	273,2172	0	170,6201
5	329,8047	2,127846	6,005116	5753	2,116359	0,07919596	0,2061075	281,9751	0,3063894	171,0587
5	333,9188	2,184753	6,078455	5817	2,170248	0,08768124	0,2355514	296,0827	0,3063894	154,3914
5	338,8454	2,248971	6,162771	5881	2,233935	0,08485281	0,2453661	311,1308	0,3063894	134,2153
5	341,9456	2,312539	6,239557	5945	2,297621	0,1046518	0,2404587	326,1789	0,3063894	102,6352
5	343,5246	2,374309	6,323004	6009	2,361308	0,1131371	0,2208295	336,8178	0,6127788	67,54626
5	344,8629	2,420702	6,408171	6073	2,410298	0,1244508	0,1864782	344,0485	0,3063894	23,68505
5	343,7806	2,461239	6,490443	6137	2,454389	0,1216224	0,137405	343,108	0,3063894	-21,49199
5	340,7588	2,488281	6,57184	6201	2,483783	0,1272792	0,07851714	334,1732	0,3063894	-66,66904
5	337,7094	2,506982	6,646388	6265	2,503378	0,1329361	0,01962928	317,7144	0,3063894	-114,4777
6	335,0982	2,50635	6,708652	6322	2,503378	0,1216224	-0,00981464	305,4878	0,3063894	-137,7242
6	333,0683	2,51167	6,768606	6386	2,508278	0,1244508	-0,03925857	293,7314	0,3063894	-157,0231
6	336,4675	2,528005	6,876794	6514	2,522974	0,1216224	-0,1030537	277,7428	0,3063894	-189,919
6	341,2408	2,548923	6,924228	6578	2,54257	0,1216224	-0,1324977	277,7428	0,3063894	-198,2526
6	343,5389	2,570472	6,967329	6642	2,562166	0,1216224	-0,1668489	278,6833	0,3063894	-200,8843

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	347,8794	2,590736	7,021159	6706	2,581762	0,1159655	-0,1815709	284,3264	0,3063894	-200,4457
6	350,031	2,616973	7,087808	6770	2,606257	0,1244508	-0,2012002	289,9694	0,3063894	-196,0596
6	351,7589	2,642399	7,148576	6834	2,630752	0,1216224	-0,2159221	296,0827	0,3063894	-189,919
6	355,3518	2,673322	7,199326	6898	2,660146	0,1216224	-0,2355514	303,6068	0,3063894	-184,6557
6	357,8363	2,703266	7,255378	6962	2,68954	0,1272792	-0,2404587	311,1308	0,3063894	-176,7607
6	361,3103	2,738399	7,310972	7026	2,723833	0,1301077	-0,2502734	321,4763	0,3063894	-164,9181
6	362,4422	2,76747	7,353878	7090	2,753227	0,1357645	-0,2453661	328,5302	0,3063894	-153,0756
6	364,3842	2,796881	7,415795	7154	2,78262	0,1301077	-0,2502734	336,9947	0,3063894	-138,6014
6	362,2611	2,835568	7,470098	7218	2,821812	0,1414214	-0,2404587	343,108	0,3063894	-116,2322
6	362,4247	2,859277	7,53442	7282	2,846307	0,1442498	-0,2306441	349,2213	0,3063894	-96,93327
6	362,798	2,892793	7,59173	7346	2,8806	0,1470782	-0,2208295	354,3941	0,3063894	-77,63434
6	362,598	2,915624	7,653438	7410	2,905095	0,1442498	-0,2012002	358,1561	0,3063894	-56,58096
6	360,9374	2,938894	7,701252	7474	2,92959	0,1470782	-0,1815709	359,0966	0,3063894	-36,4048
6	359,8077	2,957288	7,754644	7538	2,949186	0,1470782	-0,1619416	359,5669	0,3063894	-13,15836
6	357,928	2,975659	7,811828	7602	2,968781	0,1527351	-0,1324977	357,6859	0,3063894	13,15836
6	354,9932	2,988854	7,877692	7666	2,983479	0,1499066	-0,09814642	352,9833	0,3063894	37,72064
6	352,0365	2,997538	7,930821	7730	2,993276	0,1442498	-0,06870249	346,8701	0,3063894	60,08986
6	351,0663	3,006527	7,971834	7794	3,003074	0,1385929	-0,03925857	339,8163	0,3063894	88,16103
6	345,3952	3,006031	8,015937	7858	3,003074	0,1329361	-0,00981464	326,1789	0,3063894	113,6005
7	341,96	3,010611	8,059175	7917	3,007973	0,1244508	0,01962928	314,8928	0,3063894	133,3381
7	342,3396	3,010894	8,099932	7981	3,007973	0,1187939	0,05888785	306,4283	0,3063894	152,637
7	343,4309	3,026406	8,159822	8045	3,022671	0,1216224	0,08833178	303,1365	0,3063894	161,4092
7	350,4345	3,053031	8,246898	8173	3,047165	0,1187939	0,1472196	303,6068	0,3063894	175,0062
7	351,1966	3,07338	8,30029	8237	3,066761	0,1131371	0,1668489	305,4878	0,3063894	173,2518
7	354,0188	3,094055	8,346958	8301	3,086357	0,1131371	0,1864782	310,1903	0,3063894	170,6201

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	357,9376	3,125367	8,409161	8365	3,115751	0,1244508	0,2110148	314,8928	0,3063894	170,1815
7	360,0733	3,150697	8,45733	8429	3,140246	0,1216224	0,2257368	320,5359	0,3063894	164,0409
7	363,8923	3,185924	8,501611	8493	3,174539	0,1301077	0,2355514	328,0599	0,3063894	157,4617
7	367,0494	3,215947	8,559036	8557	3,203933	0,1301077	0,2453661	335,584	0,3063894	148,6895
7	368,5184	3,250602	8,61334	8621	3,238225	0,1329361	0,2502734	342,1675	0,3063894	136,847
7	371,6591	3,280119	8,655833	8685	3,267619	0,1385929	0,2502734	349,6916	0,3063894	125,8817
7	371,7211	3,314035	8,700655	8749	3,301912	0,1414214	0,2453661	355,9818	0	107,0213
7	373,6581	3,34321	8,750857	8813	3,331306	0,1470782	0,2404587	361,4479	0,3063894	94,7402
7	373,8665	3,371734	8,805573	8877	3,3607	0,1527351	0,2257368	366,6207	0,3063894	73,24821
7	372,8953	3,395077	8,863816	8941	3,385195	0,1499066	0,2110148	368,972	0,3063894	53,94928
7	373,9965	3,423484	8,916908	9005	3,414589	0,1555635	0,1913855	372,734	0,3063894	30,70284
7	372,8479	3,441994	8,980494	9069	3,434185	0,1555635	0,1717562	372,734	0,3063894	9,210854
7	372,8479	3,460674	9,027419	9133	3,45378	0,1612204	0,1472196	372,734	0,3063894	-9,210854
7	371,6997	3,478853	9,078896	9197	3,473377	0,1555635	0,1177757	369,9125	0,3063894	-36,4048
7	370,4433	3,492785	9,143426	9261	3,488074	0,1583919	0,08833178	365,6802	0,3063894	-59,21263
7	369,699	3,501951	9,185204	9325	3,497871	0,1583919	0,05888785	360,9777	0,3063894	-79,8274
7	364,6479	3,506347	9,235538	9389	3,50277	0,1555635	0,02944393	350,1618	0,3063894	-101,758
8	359,6327	3,510993	9,287905	9449	3,507669	0,1527351	0	336,0542	0,3063894	-128,0747
8	361,7235	3,511213	9,347623	9513	3,507669	0,1527351	-0,03925857	327,1194	0,3063894	-154,3914
8	359,398	3,521119	9,402176	9577	3,517467	0,1470782	-0,06379517	315,3631	0,3063894	-172,3745
8	359,6034	3,526787	9,460702	9641	3,522366	0,1499066	-0,0932391	308,3093	0,3063894	-185,0943
8	362,9907	3,537237	9,517445	9705	3,532164	0,1442498	-0,122683	305,4878	0,3063894	-196,0596
8	366,319	3,557942	9,563621	9769	3,55176	0,1442498	-0,152127	306,8985	0,3063894	-200,0071
8	373,9097	3,604207	9,688558	9897	3,595851	0,1470782	-0,1962928	315,3631	0,3063894	-200,8843
8	377,6492	3,634358	9,741141	9961	3,625245	0,1470782	-0,2110148	323,8276	0,3063894	-194,3051

R= 15,475 h= 1,05

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	379,2559	3,664862	9,787796	10025	3,654639	0,1470782	-0,2306441	328,5302	0,3063894	-189,4804
8	384,0592	3,695352	9,83289	10089	3,684032	0,1527351	-0,2453661	336,9947	0,3063894	-184,2171
8	383,11	3,724657	9,887782	10153	3,713427	0,1527351	-0,2453661	341,6973	0,3063894	-173,2518
8	387,2818	3,759287	9,940094	10217	3,747719	0,1555635	-0,2502734	352,0428	0,3063894	-161,4092
8	386,734	3,783046	9,996834	10281	3,772214	0,1470782	-0,2453661	358,6264	0,3063894	-144,742
8	387,7474	3,822579	10,05818	10345	3,811406	0,1583919	-0,2453661	365,2099	0,3063894	-130,2678
8	388,7029	3,851275	10,11224	10409	3,8408	0,1583919	-0,2355514	372,2637	0,3063894	-111,8461
8	386,9394	3,879958	10,15764	10473	3,870194	0,1640488	-0,2208295	376,9662	0,3063894	-87,2838
8	387,6765	3,908716	10,19941	10537	3,899588	0,1697056	-0,2061075	381,6688	0,3063894	-67,98487
8	386,2529	3,932298	10,26181	10601	3,924083	0,1725341	-0,1864782	383,5498	0,3063894	-45,61565
8	383,5655	3,950771	10,31136	10665	3,943678	0,1725341	-0,1619416	383,0796	0,3063894	-19,29893
8	382,1515	3,969407	10,3542	10729	3,963274	0,1725341	-0,137405	382,1391	0,3063894	3,070285
8	378,4468	3,983053	10,39598	10793	3,977972	0,1697056	-0,1079611	377,4365	0,3063894	27,63256
8	378,0773	3,996925	10,44937	10857	3,992668	0,1668772	-0,07851714	374,1447	0,3063894	54,38789
8	370,9825	3,996223	10,5063	10921	3,992668	0,1612204	-0,04907321	362,3884	0,3063894	79,38879
8	367,958	4,005516	10,55739	10985	4,002466	0,1555635	-0,01472196	351,1023	0,3063894	110,0916
8	293,9561	3,960526	10,6203	11057	3,958375	0,1244508	-0,03925857	289,9694	0,3063894	48,24733
8	84,54211	3,768028	10,89805	11121	3,767315	0,02545585	-0,06870249	84,4687	0,3063894	3,508896
8	9,8606	3,679615	11,02552	11185	3,679134	0,008485281	-0,05888785	9,698425	0,3063894	-1,754448

R= 15,47 h= 1,072

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	3,469835	0,01497756	0,01233215	40	0	0,01131371	0,009814642	0,4607514	0	3,439107
1	17,62543	0,04046276	0,04990849	89	0,00489898	0,008485281	0,03925857	0	0	17,62543
1	26,23938	0,05601694	0,08350854	121	0,00489898	0,01414214	0,05398053	-0,9215029	0	26,22319

R= 15,47 h= 1,072

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	40,90433	0,08833178	0,1450009	185	0	0	0,08833178	-2,303757	0	40,8394
1	50,77912	0,1089935	0,1779675	217	0,00489898	0,01414214	0,1079611	-2,303757	0	50,72684
1	57,66409	0,1232036	0,2150751	249	0	0,01131371	0,122683	-2,591301	-0,3000045	57,60505
1	64,5425	0,138449	0,2473394	281	0	0,01697056	0,137405	-2,764509	0	64,48326
1	71,41501	0,1525471	0,2695501	313	0	0,01131371	0,152127	-2,764509	0	71,36148
1	80,45381	0,1725926	0,2909784	345	0	0,01697056	0,1717562	-3,22526	0	80,38914
1	88,18613	0,1872488	0,3165201	377	0	0,01697056	0,1864782	-3,22526	0	88,12713
1	95,06008	0,2024685	0,3451373	409	0	0,02262742	0,2012002	-3,22526	0	95,00535
1	104,9747	0,2211191	0,3699295	449	0	0,01131371	0,2208295	-4,146763	0	104,8928
1	112,7071	0,2358229	0,4059714	481	0	0,01131371	0,2355514	-4,146763	0	112,6308
1	119,5809	0,2512942	0,4293258	513	0	0,02262742	0,2502734	-4,146763	0	119,509
1	125,1662	0,2655382	0,4517921	545	0	0,01697056	0,2649953	-4,146763	0	125,0975
1	133,7596	0,2855226	0,4878958	577	0	0,02262742	0,2846246	-4,146763	0	133,6953
1	139,7624	0,2953074	0,5077806	609	0	0,02262742	0,2944393	-3,686012	0	139,7137
1	144,9083	0,3148826	0,5420546	641	0	0,02262742	0,3140686	-3,22526	0	144,8724
1	150,4863	0,3302957	0,5725037	673	-0,00489898	0,0311127	0,3287905	-2,764509	0	150,461
1	159,5052	0,3491538	0,6089396	705	0	0,02262742	0,3484198	-2,303757	0	159,4886
1	165,9395	0,3593493	0,6288245	737	0	0,02828427	0,3582344	-0,9215029	0	165,9369
1	173,2457	0,3785406	0,6589551	769	0	0,02262742	0,3778637	-0,4607514	0	173,245
1	179,694	0,3929523	0,6897982	801	0	0,01697056	0,3925857	0,4607514	0	179,6934
1	187,8618	0,4131842	0,7277193	833	0	0,02828427	0,412215	0,4607514	0	187,8613
1	195,5998	0,4275362	0,7524475	865	0	0,02262742	0,426937	0,4607514	0	195,5992
1	202,4795	0,4425637	0,7728264	897	0	0,02828427	0,4416589	0,9215029	0	202,4774
1	208,0742	0,4572565	0,8096323	929	0	0,02828427	0,4563809	1,843006	0	208,066
1	223,124	0,4915465	0,8765497	993	0	0,02828427	0,4907321	2,303757	0	223,1121

R= 15,47 h= 1,072

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	229,5695	0,5059603	0,8964345	1025	0	0,02262742	0,5054541	2,016213	-0,3000045	229,5604
1	236,4499	0,5209445	0,929859	1057	0	0,02828427	0,5201761	2,303757	0	236,4386
1	243,7681	0,5407234	0,9618515	1089	-0,00489898	0,0311127	0,5398053	3,22526	0	243,7467
1	249,3625	0,5549022	0,9824859	1121	-0,00489898	0,01979899	0,5545273	3,686012	0	249,3353
1	254,9576	0,5699515	1,029016	1153	0	0,02828427	0,5692493	4,146763	0	254,9238
1	261,4213	0,5898558	1,064448	1185	0	0,03394112	0,5888785	5,068266	0	261,3722
1	270,0364	0,6042629	1,088157	1217	0	0,02828427	0,6036005	5,989769	0	269,9699
1	276,5166	0,618969	1,125265	1249	0	0,02828427	0,6183224	7,372023	0	276,4183
1	283,8221	0,6341303	1,147476	1281	-0,00489898	0,03676955	0,6330444	7,372023	0	283,7263
1	292,0074	0,6485316	1,17974	1313	-0,00489898	0,0311127	0,6477664	8,120318	0,3000045	291,8943
1	298,0235	0,667899	1,205282	1345	-0,00489898	0,02545585	0,6673957	8,120318	0,3000045	297,9127
1	304,0851	0,6827038	1,225167	1377	0	0,02828427	0,6821176	9,67578	0	303,9311
1	308,4064	0,6974134	1,263041	1409	0	0,02828427	0,6968396	10,42408	0,3000045	308,23
1	314,437	0,7170269	1,283419	1441	0	0,02828427	0,7164689	10,88483	0,3000045	314,2484
1	317,8902	0,7366413	1,303798	1473	0	0,02828427	0,7360982	11,34558	0,3000045	317,6876
1	322,2092	0,7515869	1,328272	1500	0	0,03394112	0,7508201	11,97954	0	321,9864
2	320,1902	0,7468346	1,374946	1532	0,00489898	0,03676955	0,7459128	15,03159	0,3000045	319,837
2	319,61	0,7426447	1,416194	1564	0,01959592	0,04525483	0,7410055	20,09986	0,3000045	318,9772
2	320,4476	0,7483113	1,442485	1596	0,03919184	0,04525483	0,7459128	25,80208	0	319,4071
2	323,0793	0,7497852	1,471852	1628	0,05388878	0,05374012	0,7459128	31,3311	0	321,5565
2	325,4036	0,7501052	1,50793	1660	0,06858572	0,03959798	0,7459128	37,14766	0,3000045	323,2761
2	331,0748	0,7472838	1,525919	1692	0,08818163	0,03959798	0,7410055	44,98043	0,3000045	328,0049
2	333,3135	0,7550165	1,556035	1724	0,1077776	0,04525483	0,7459128	51,60416	0	329,2946
2	334,111	0,75616	1,582804	1756	0,1175755	0,03959798	0,7459128	58,97618	0	328,8647
2	334,4718	0,7629639	1,65549	1820	0,1567674	0,03394112	0,7459128	73,54702	0,3000045	326,2853

R= 15,47 h= 1,072

гз бБ®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	336,2982	0,7665415	1,676602	1852	0,1714643	0,04242641	0,7459128	79,71	0	326,7152
2	338,4801	0,7693126	1,697236	1884	0,1861612	0,02828427	0,7459128	88,46428	0	326,7152
2	339,8907	0,7745153	1,744273	1916	0,2057571	0,03394112	0,7459128	95,20234	0,3000045	326,2853
2	339,616	0,7784304	1,785451	1948	0,2204541	0,0311127	0,7459128	101,3653	0	324,1359
2	340,2589	0,7847356	1,820882	1980	0,24005	0,04242641	0,7459128	108,7373	0	322,4163
2	341,1023	0,7895125	1,851315	2012	0,2547469	0,04525483	0,7459128	115,0147	0,3000045	321,1266
2	342,289	0,7988309	1,86677	2044	0,2694439	0,04242641	0,7508201	121,9259	0,3000045	319,837
2	342,7004	0,7991807	1,905038	2076	0,2841408	0,03959798	0,7459128	127,4549	0,3000045	318,1174
2	344,899	0,8046675	1,929497	2108	0,2988378	0,04242641	0,7459128	135,2877	0,3000045	317,2577
2	345,3297	0,8073668	1,95762	2140	0,3184336	0,03676955	0,7410055	141,2775	0,3000045	315,1082
2	346,8512	0,8157658	1,991522	2172	0,3282316	0,03676955	0,7459128	147,728	0,3000045	313,8185
2	348,2866	0,8222128	2,021638	2204	0,3429286	0,04525483	0,7459128	153,7178	0,3000045	312,5289
2	350,3245	0,837283	2,051321	2236	0,3674235	0,04808326	0,7508201	160,8022	0	311,2392
2	351,8958	0,8436794	2,081082	2268	0,3821204	0,04525483	0,7508201	166,6188	0,3000045	309,9496
2	352,4449	0,8419413	2,116815	2300	0,3968174	0,04808326	0,7410055	171,6871	0,3000045	307,8001
2	354,6032	0,8513525	2,151318	2332	0,4164133	0,04808326	0,7410055	178,3108	0	306,5105
2	356,4586	0,8630376	2,179919	2364	0,4311102	0,05091169	0,7459128	184,1274	0,3000045	305,2208
2	357,1306	0,8703113	2,209221	2396	0,4458071	0,04808326	0,7459128	190,2903	0	302,2116
2	359,6522	0,878436	2,232575	2428	0,4605041	0,05656854	0,7459128	195,6461	0,3000045	301,7817
2	361,9701	0,8888655	2,259344	2460	0,4801	0,05656854	0,7459128	201,8091	0	300,492
2	363,4788	0,9004815	2,281971	2492	0,4947969	0,04808326	0,7508201	207,6257	0,3000045	298,3426
2	364,6494	0,9054512	2,311731	2524	0,5094939	0,06222539	0,7459128	212,694	0,3000045	296,1931
2	366,2447	0,9136137	2,3385	2556	0,5241908	0,05939697	0,7459128	217,7622	0,3000045	294,4736
2	366,8244	0,921617	2,369409	2588	0,5388877	0,05091169	0,7459128	223,2912	0,3000045	291,0345
2	369,1517	0,9335362	2,398009	2620	0,5584837	0,05656854	0,7459128	229,281	0,3000045	289,3149

R=	15,47	h=	1,072							
гз бБ®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	372,2975	0,9514126	2,454405	2684	0,5878776	0,05656854	0,7459128	238,496	0,3000045	285,8758
2	373,5797	0,963644	2,479883	2716	0,6074734	0,05656854	0,7459128	244,0251	0,3000045	282,8666
2	374,6721	0,9728155	2,500995	2748	0,6221704	0,05374012	0,7459128	248,6326	0,3000045	280,2873
2	375,6497	0,983155	2,531904	2780	0,6368673	0,06788225	0,7459128	252,4918	0	278,1378
2	376,754	0,9955912	2,575115	2812	0,6564633	0,06222539	0,7459128	256,9261	0,3000045	275,5585
2	378,4927	1,005522	2,597743	2844	0,6711602	0,06505383	0,7459128	262,6283	0	272,5493
2	380,1724	1,018706	2,632	2876	0,6907561	0,06505383	0,7459128	267,2358	0	270,3998
2	380,5294	1,0293	2,659928	2908	0,705453	0,07353911	0,7459128	270,7487	0,3000045	267,3906
2	381,9953	1,035653	2,695346	2940	0,715251	0,06788225	0,7459128	274,8954	0,3000045	265,2411
2	382,5876	1,046045	2,727283	2972	0,7299479	0,07071068	0,7459128	278,5814	0,3000045	262,2319
2	384,2573	1,059812	2,770667	3004	0,7495439	0,07071068	0,7459128	283,6497	0,3000045	259,2227
2	386,1797	1,070448	2,796603	3036	0,7642408	0,07353911	0,7459128	287,7964	0,3000045	257,5032
2	387,5785	1,084525	2,820707	3068	0,7838367	0,07353911	0,7459128	291,9432	0,3000045	254,9238
2	388,1253	1,095796	2,856785	3100	0,7985336	0,08202438	0,7459128	295,6292	0,3000045	251,4847
2	389,694	1,106346	2,888854	3132	0,8132306	0,07919596	0,7459128	299,4884	0	249,3353
2	390,7664	1,117398	2,922046	3164	0,8279275	0,08202438	0,7459128	303,0012	0,3000045	246,756
2	392,2484	1,131994	2,95144	3196	0,8475235	0,08202438	0,7459128	307,3212	0	243,7467
2	393,4203	1,144141	2,98313	3228	0,8622204	0,09616652	0,7459128	310,834	0,3000045	241,1674
2	395,5094	1,157343	3,009543	3261	0,8769174	0,08202438	0,7508201	315,4415	0,3000045	238,5881
2	399,4901	1,188149	3,05845	3293	0,9161092	0,09333809	0,7508201	324,1958	0,3000045	233,4294
2	400,7867	1,208372	3,103606	3325	0,9455031	0,09899495	0,7459128	329,7248	0,3000045	227,8409
2	402,8545	1,235619	3,140398	3357	0,9797959	0,1018234	0,7459128	335,7146	0,3000045	222,6822
2	405,286	1,259524	3,182132	3389	1,00919	0,1074802	0,7459128	341,4168	0	218,3833
2	407,5334	1,286932	3,223562	3421	1,043483	0,1046518	0,7459128	346,7726	0,3000045	214,0844
2	409,0206	1,31183	3,270111	3453	1,072876	0,1159655	0,7459128	351,3801	0,3000045	209,3557

R= 15,47 h= 1,072

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	413,596	1,368983	3,346094	3517	1,141462	0,1216224	0,7459128	359,6737	0,3000045	204,197
2	414,8796	1,393104	3,38596	3549	1,170856	0,1159655	0,7459128	363,0721	0	200,7579
2	416,1128	1,418372	3,426893	3581	1,20025	0,1216224	0,7459128	366,5849	0,3000045	196,8889
2	418,1804	1,447271	3,469433	3613	1,234543	0,1187939	0,7459128	371,1924	0,3000045	192,59
2	419,4706	1,476862	3,506	3645	1,268836	0,1216224	0,7459128	375,0517	0	187,8613
2	420,7211	1,504187	3,551876	3677	1,29823	0,1159655	0,7508201	378,5645	0,3000045	183,5624
2	422,4328	1,534099	3,598607	3709	1,332523	0,1187939	0,7508201	382,7112	0,3000045	178,8336
2	422,9706	1,557342	3,642602	3741	1,361916	0,1187939	0,7459128	385,4757	0,3000045	174,1048
2	424,8459	1,589944	3,689639	3773	1,396209	0,1216224	0,7508201	389,6225	0,3000045	169,376
2	427,2251	1,619932	3,733177	3805	1,430502	0,1187939	0,7508201	394,4032	0	164,2174
2	428,101	1,643314	3,769968	3837	1,459896	0,1131371	0,7459128	397,4553	0,3000045	159,0587
2	428,7904	1,669108	3,806535	3869	1,48929	0,1074802	0,7459128	400,2198	0,3000045	153,9001
2	430,8704	1,695038	3,846133	3901	1,518684	0,1018234	0,7459128	403,9058	0,3000045	150,0311
2	431,9939	1,72535	3,883229	3933	1,552976	0,09333809	0,7459128	406,6703	0,3000045	145,7322
2	433,0345	1,756433	3,923949	3965	1,587269	0,09616652	0,7459128	409,4348	0,3000045	141,0034
2	434,8497	1,787334	3,968706	3997	1,621562	0,09333809	0,7459128	412,6601	0,3000045	137,1344
2	436,573	1,814043	4,009709	4029	1,650956	0,09333809	0,7459128	415,5978	0	133,6953
2	437,4759	1,836223	4,04881	4061	1,675451	0,09050967	0,7459128	417,9016	0	129,3964
2	438,3882	1,867174	4,09603	4093	1,709744	0,08202438	0,7459128	420,0321	0,3000045	125,5274
2	439,6285	1,903378	4,147127	4125	1,748936	0,08768124	0,7459128	422,3359	0,3000045	122,0883
2	441,2326	1,930174	4,179552	4157	1,77833	0,08202438	0,7459128	425,1004	0,3000045	118,2193
2	442,5482	1,961934	4,224451	4189	1,812622	0,08485281	0,7459128	427,4041	0,3000045	114,7802
2	443,1146	1,988672	4,272862	4221	1,842016	0,07353911	0,7459128	428,7863	0,3000045	111,771
2	445,0112	2,048126	4,364851	4285	1,905703	0,08202438	0,7459128	432,4724	0,3000045	104,8928
2	446,5542	2,079962	4,396788	4317	1,939996	0,07919596	0,7459128	434,7761	0,3000045	101,8836

R= 15,47 h= 1,072

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	446,4953	2,107404	4,440526	4349	1,96939	0,07919596	0,7459128	435,4101	0	98,87434
2	448,1809	2,139384	4,480084	4381	2,003683	0,07636753	0,7459128	437,7139	0	96,29501
2	449,6281	2,171636	4,522307	4413	2,037976	0,07919596	0,7459128	439,8444	0,3000045	93,28579
2	450,6235	2,194175	4,57384	4445	2,06247	0,06505383	0,7459128	441,3999	0	90,70646
2	454,0954	2,240458	4,626889	4482	2,11146	0,07071068	0,7459128	445,5466	0	87,69724
2	455,598	2,300665	4,698181	4514	2,175147	0,07353911	0,7459128	448,1379	0,3000045	82,10869
2	456,7323	2,360882	4,769716	4546	2,238834	0,07071068	0,7459128	449,9809	0,3000045	78,23969
2	457,9039	2,425861	4,834212	4578	2,30742	0,06505383	0,7459128	451,8239	0,3000045	74,3707
2	458,5258	2,484841	4,898707	4610	2,371106	0,05656854	0,7410055	453,2062	0,3000045	69,64192
2	459,3221	2,543878	4,967285	4642	2,429894	0,05656854	0,7508201	454,5885	0,3000045	65,77293
2	461,1238	2,608191	5,029916	4674	2,49848	0,06222539	0,7459128	457,0654	0	61,04416
3	460,6178	2,631368	5,089415	4692	2,522974	0,04808326	0,7459128	456,8922	0,3000045	58,46482

R= 15,48 h= 1,04

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	16,82335	0,03435124	0,03481391	76	0	0	-0,03435124	0,4746217	0	-16,81665
1	26,99516	0,05915893	0,05777418	108	0	-0,00565685	-0,05888785	0	0	-26,99516
1	35,84603	0,06893499	0,09923298	140	0,00489898	0,002828427	-0,06870249	0	0	-35,84603
1	44,2569	0,08342446	0,1317135	172	0	0	-0,08342446	-0,4746217	0	-44,25435
1	52,66482	0,09814642	0,1572552	204	0	0	-0,09814642	-0,4746217	0	-52,66268
1	63,2855	0,1179115	0,1866364	236	0	-0,00565685	-0,1177757	-0,4746217	0	-63,28372
1	72,57869	0,1375214	0,2046893	268	0	-0,00565685	-0,137405	-0,4746217	0	-72,57714
1	77,88911	0,1473283	0,2382138	300	0,00489898	-0,00282843	-0,1472196	-0,4746217	0	-77,88766
1	84,96968	0,1619416	0,2683444	332	0	0	-0,1619416	-0,4746217	0	-84,96835
1	96,03664	0,181659	0,2957181	364	0	-0,00565685	-0,1815709	-0,9492433	0	-96,03194

R= 15,48 h= 1,04

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	107,5548	0,2061075	0,359001	428	0	0	-0,2061075	-1,898487	0	-107,5381
1	113,307	0,2258076	0,3883821	460	0	-0,00565685	-0,2257368	-1,898487	0	-113,2911
1	121,2801	0,2454313	0,4113424	492	0	-0,00565685	-0,2453661	-2,373108	0	-121,2569
1	128,3596	0,2601495	0,442935	524	0	-0,00565685	-0,260088	-2,373108	0	-128,3376
1	134,5634	0,2748682	0,4710581	556	0	-0,00565685	-0,27481	-2,84773	0	-134,5332
1	141,6529	0,2895319	0,4958504	588	0	0	-0,2895319	-3,322352	0	-141,6139
1	152,2823	0,3141195	0,5217861	620	0	-0,00565685	-0,3140686	-3,796973	0	-152,235
1	158,4881	0,3239326	0,5478362	652	0	-0,00565685	-0,3238832	-4,271595	0	-158,4306
1	162,055	0,3436987	0,5733779	684	0	-0,01131371	-0,3435125	-5,220838	0	-161,9709
1	169,5898	0,3582344	0,6169704	716	0	0	-0,3582344	-5,69546	0	-169,4942
1	174,9135	0,3779061	0,6376047	748	0,00489898	0,002828427	-0,3778637	-6,170082	0	-174,8047
1	179,3533	0,3876784	0,6801206	780	0	0	-0,3876784	-6,644703	0	-179,2301
1	183,7935	0,4024003	0,7138737	812	0	0	-0,4024003	-7,119325	0	-183,6556
1	190,4452	0,4220675	0,7386659	844	0	-0,00565685	-0,4220296	-7,593946	0	-190,2937
1	197,5393	0,4367882	0,7759596	876	0	-0,00565685	-0,4367516	-8,068568	0	-197,3744
1	203,2877	0,451509	0,7996694	908	0	-0,00565685	-0,4514735	-8,068568	0	-203,1275
1	210,4015	0,4661955	0,8290505	940	0	0	-0,4661955	-9,017812	0	-210,2082
1	218,3804	0,4907321	0,8584317	972	0	0	-0,4907321	-9,492433	0	-218,174
1	225,9172	0,5005468	0,8907126	1004	0	0	-0,5005468	-9,967054	0	-225,6972
1	232,1278	0,5152998	0,9162544	1036	0	-0,00565685	-0,5152687	-10,44168	0	-231,8928
1	239,6648	0,5299907	0,9392146	1068	0	0	-0,5299907	-10,9163	0	-239,416
1	248,5281	0,5496491	0,9714317	1100	0	-0,00565685	-0,5496199	-11,39092	0	-248,2669
1	256,9494	0,5643419	0,9969735	1132	0	0	-0,5643419	-11,86554	0	-256,6753
1	265,8351	0,5790639	1,022515	1164	0	0	-0,5790639	-12,81478	0	-265,5261
1	274,6986	0,5938128	1,050638	1196	0,00489898	-0,00282843	-0,5937858	-13,28941	0	-274,377

R= 15,48 h= 1,04

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	292,9153	0,6330697	1,108143	1260	0,00489898	0,002828427	-0,6330444	-15,18789	0	-292,5213
1	297,8014	0,642884	1,139356	1292	0	0,005656854	-0,642859	-15,66251	0	-297,3893
1	303,6234	0,657581	1,169805	1324	0	0	-0,657581	-17,08638	0	-303,1423
1	310,2778	0,6772103	1,204035	1356	0	0	-0,6772103	-17,561	0	-309,7805
1	312,1	0,6919323	1,229577	1388	0	0	-0,6919323	-18,51024	0	-311,5507
1	315,6913	0,7066543	1,258194	1420	0	0	-0,7066543	-19,45949	0	-315,091
1	317,9293	0,7213762	1,277823	1452	0	0	-0,7213762	-19,93411	0	-317,3037
1	318,8426	0,7410271	1,308972	1484	0	0,005656854	-0,7410055	-20,40873	0	-318,1888
2	319,7879	0,7508414	1,340107	1511	0	0,005656854	-0,7508201	-21,35798	0	-319,0739
2	319,9873	0,7509693	1,355562	1543	-0,01469694	0,002828427	-0,7508201	-29,42654	0	-318,6313
2	320,5028	0,7513953	1,379272	1575	-0,02939388	0	-0,7508201	-38,44436	0	-318,1888
2	321,6394	0,7524379	1,401899	1607	-0,0489898	0,005656854	-0,7508201	-46,98754	0	-318,1888
2	323,1927	0,753203	1,427152	1639	-0,05878776	0,01131371	-0,7508201	-54,10687	0	-318,6313
2	325,7846	0,7554302	1,447514	1671	-0,08328266	0,002828427	-0,7508201	-63,5993	0	-319,5164
2	327,2489	0,7621365	1,487633	1703	-0,09797959	0,01131371	-0,7557275	-70,71863	0	-319,5164
2	328,001	0,7635627	1,513924	1735	-0,1077776	0,01697056	-0,7557275	-77,83794	0	-318,6313
2	328,1762	0,7625135	1,540337	1767	-0,1322725	0,01414214	-0,7508201	-85,4319	0	-316,8611
2	332,4486	0,7647763	1,572763	1799	-0,1420704	0,03111127	-0,7508201	-97,77206	0	-317,7462
2	335,293	0,7698227	1,61218	1839	-0,1665653	0,03394112	-0,7508201	-109,6376	0	-316,8611
2	336,0276	0,7732651	1,63589	1871	-0,1812622	0,03676955	-0,7508201	-116,7569	0	-315,091
2	338,9155	0,7772895	1,665508	1903	-0,1959592	0,04525483	-0,7508201	-124,8255	0	-315,091
2	341,4187	0,7806785	1,700559	1935	-0,2106561	0,03676955	-0,7508201	-131,4702	0	-315,091
2	344,9756	0,7864775	1,73032	1967	-0,230252	0,04242641	-0,7508201	-141,4373	0	-314,6484
2	347,3582	0,7914056	1,758604	1999	-0,244949	0,05091169	-0,7508201	-149,0312	0	-313,7634
2	349,8641	0,796263	1,775575	2031	-0,2596459	0,05374012	-0,7508201	-155,6759	0	-313,3208

R= 15,48 h= 1,04

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	355,7858	0,8082889	1,832776	2095	-0,2939388	0,05656854	-0,7508201	-171,813	0	-311,5507
2	358,5107	0,8139501	1,844089	2127	-0,3086357	0,05939697	-0,7508201	-178,9324	0	-310,6656
2	360,2199	0,8198456	1,870858	2159	-0,3233326	0,06222539	-0,7508201	-186,0517	0	-308,4528
2	363,4644	0,8233212	1,907424	2191	-0,3429286	0,06222539	-0,7459128	-195,0695	0	-306,6827
2	366,2267	0,8341815	1,933716	2223	-0,3576255	0,06505383	-0,7508201	-202,1888	0	-305,355
2	369,1105	0,8419708	1,968991	2255	-0,3772214	0,05374012	-0,7508201	-209,3082	0	-304,0274
2	370,5653	0,8471994	2,017727	2287	-0,3870194	0,06505383	-0,7508201	-215,0036	0	-301,8147
2	373,5272	0,856777	2,051152	2319	-0,4066153	0,07071068	-0,7508201	-223,0722	0	-299,602
2	376,0698	0,863622	2,086214	2351	-0,4213122	0,06788225	-0,7508201	-230,1915	0	-297,3893
2	376,4704	0,8711113	2,118955	2383	-0,4360092	0,07071068	-0,7508201	-235,8869	0	-293,4063
2	378,9661	0,8810828	2,146039	2415	-0,4556051	0,07071068	-0,7508201	-242,5316	0	-291,1936
2	380,8806	0,889001	2,167151	2447	-0,470302	0,07353911	-0,7508201	-249,651	0	-287,6533
2	382,304	0,8966353	2,203717	2479	-0,484999	0,07071068	-0,7508201	-256,2957	0	-283,6704
2	384,5239	0,9069613	2,230486	2511	-0,5045949	0,06505383	-0,7508201	-262,9404	0	-280,5726
2	385,2432	0,9128696	2,25877	2543	-0,5143928	0,07071068	-0,7508201	-268,1613	0	-276,5897
2	387,7062	0,9245036	2,281399	2575	-0,5339888	0,07636753	-0,7508201	-274,8059	0	-273,4919
2	389,0299	0,9324135	2,311831	2607	-0,5486857	0,06788225	-0,7508201	-280,976	0	-269,0664
2	390,0999	0,9413452	2,344256	2639	-0,5633826	0,07071068	-0,7508201	-286,1968	0	-265,0836
2	392,3991	0,9532024	2,361227	2671	-0,5829786	0,07071068	-0,7508201	-293,3162	0	-260,6581
2	394,1411	0,9620576	2,389077	2703	-0,5976755	0,06788225	-0,7508201	-299,4862	0	-256,2327
2	394,4445	0,970576	2,406048	2735	-0,6172714	0,06788225	-0,7459128	-304,7071	0	-250,4796
2	396,4572	0,9802137	2,433228	2767	-0,6270694	0,06222539	-0,7508201	-309,4533	0	-247,8244
2	398,9499	0,9932346	2,455855	2799	-0,6466653	0,06788225	-0,7508201	-316,098	0	-243,3989
2	400,4424	1,003061	2,483968	2831	-0,6613622	0,07071068	-0,7508201	-321,3189	0	-238,9735
2	401,788	1,01972	2,510381	2863	-0,6809582	0,07071068	-0,7557275	-326,5397	0	-234,1055

R= 15,48 h= 1,04

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	405,3892	1,035646	2,573478	2927	-0,7103521	0,06505383	-0,7508201	-337,9306	0	-223,927
2	407,4281	1,045609	2,606328	2959	-0,725049	0,06222539	-0,7508201	-342,6768	0	-220,3867
2	407,8012	1,056024	2,623299	2991	-0,7397459	0,06505383	-0,7508201	-346,4738	0	-215,0761
2	410,3619	1,070008	2,647759	3023	-0,7544429	0,06788225	-0,7557275	-352,1693	0	-210,6507
2	412,1799	1,080157	2,684638	3055	-0,7740387	0,06222539	-0,7508201	-357,3901	0	-205,3402
2	412,6773	1,0872	2,707265	3087	-0,7838367	0,06222539	-0,7508201	-360,7125	0	-200,4722
2	415,3533	1,104834	2,738175	3119	-0,8083316	0,05939697	-0,7508201	-366,8825	0	-194,7191
2	416,0667	1,118794	2,760802	3151	-0,8230286	0,05656854	-0,7557275	-370,6795	0	-188,9661
2	418,7557	1,126518	2,792395	3183	-0,8377255	0,05939697	-0,7508201	-375,9003	0	-184,5406
2	420,4913	1,140591	2,819705	3215	-0,8524224	0,05656854	-0,7557275	-380,1719	0	-179,6727
2	420,8399	1,148015	2,849465	3247	-0,8671194	0,04808326	-0,7508201	-383,0197	0	-174,3622
2	422,9338	1,166747	2,878019	3279	-0,8916143	0,05091169	-0,7508201	-387,2913	0	-169,9367
2	424,0598	1,174252	2,908928	3311	-0,9014122	0,05091169	-0,7508201	-390,6136	0	-165,0687
2	425,3272	1,185696	2,93418	3343	-0,9161092	0,05374012	-0,7508201	-393,4614	0	-161,5284
2	425,8249	1,196964	2,951151	3375	-0,9308061	0,05091169	-0,7508201	-396,3091	0	-155,7753
2	426,8629	1,215311	2,979435	3407	-0,950402	0,05091169	-0,7557275	-399,6314	0	-150,0223
2	427,8633	1,224204	3,011383	3439	-0,9650989	0,05939697	-0,7508201	-403,903	0	-141,1714
2	2,595721	2,141525	3,045323	3479	1,552976	-1,434013	-0,3435125	-1,898487	0	-1,770174

R= 15,49 h= 1,021

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	14,98416	0,02828427	0,02476459	79	0,0244949	0,01414214	0	14,9774	0	0,450197
1	28,50892	0,05027922	0,08761141	127	0,0489898	0,01131371	0	28,50537	0	0,450197
1	41,10652	0,08158431	0,1300597	175	0,07838368	0,02262742	0	41,06705	0	1,800788
1	54,17926	0,103846	0,1718059	223	0,1028786	0,01414214	0	54,11189	0	2,701182

R= 15,49 h= 1,021

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	81,2477	0,1550226	0,267752	319	0,1518684	0,0311127	0	81,16783	0	3,601576
1	94,28147	0,1753625	0,3045435	367	0,1714643	0,03676955	0	94,21265	0	3,601576
1	106,4065	0,2065333	0,360768	415	0,2008582	0,04808326	0	106,2912	0	4,952168
1	118,1348	0,2256369	0,4018424	463	0,2204541	0,04808326	0	117,8866	0	7,653349
1	130,895	0,2501839	0,4244698	511	0,244949	0,05091169	0	130,4483	0	10,80473
1	142,7724	0,2801143	0,4597456	559	0,2743429	0,05656854	0	142,0437	0	14,40631
1	155,9331	0,3017153	0,5112787	607	0,2939388	0,06788225	0,004907321	155,0885	0	16,20709
1	170,2041	0,3261901	0,5643297	655	0,3184336	0,07071068	0	169,0997	0	19,35847
1	181,557	0,3507249	0,6130146	703	0,3429286	0,07353911	0	180,2119	0	22,05965
1	198,5607	0,373138	0,6510969	751	0,3674235	0,06505383	0	197,1219	0	23,86044
1	209,3855	0,39984	0,7194631	799	0,3919184	0,07919596	0	207,751	0	26,11143
1	221,2897	0,423358	0,7750462	847	0,4164133	0,07636753	0	219,3464	0	29,26281
1	231,4079	0,4489989	0,8186241	895	0,4409081	0,08485281	0	229,4924	0	29,71301
1	241,8206	0,4693144	0,8653554	943	0,4605041	0,09050967	0	239,6384	0	32,41418
1	253,0173	0,4938988	0,906063	991	0,484999	0,09333809	0	250,5685	0,3153973	35,11537
1	265,8254	0,5174708	0,9617372	1039	0,5094939	0,09050967	0	263,3123	0	36,46596
1	276,1855	0,5430875	1,020356	1087	0,5339888	0,09899495	0	273,4583	0	38,71695
1	287,4406	0,5687319	1,060271	1135	0,5584837	0,1074802	0	284,5705	0	40,51773
1	298,5695	0,5944006	1,092219	1183	0,5829786	0,1159655	0	295,6828	0	41,41813
1	308,9308	0,6189992	1,138106	1231	0,6074734	0,1187939	0,004907321	305,8288	0	43,66911
1	319,6442	0,6446581	1,182256	1279	0,6319684	0,1272792	0	316,4579	0	45,0197
1	329,8792	0,6703551	1,218822	1327	0,6564633	0,1357645	0	326,6039	0	46,37029
1	338,6793	0,6895564	1,266703	1375	0,6760591	0,1357645	0	335,3004	0	47,72089
1	349,2674	0,7141317	1,298967	1423	0,7005541	0,1385929	0	345,9296	0	48,17108
1	359,3224	0,7398162	1,344582	1471	0,725049	0,1470782	0	355,8934	0,3153973	49,52167

R= 15,49 h= 1,021

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	367,4463	0,7635505	1,455583	1562	0,7495439	0,1442498	-0,01962928	365,2552	0	40,06754
2	367,7654	0,7656623	1,498859	1610	0,7495439	0,1499066	-0,04416589	366,7047	0	27,91222
2	367,4703	0,7674686	1,54178	1658	0,7495439	0,1499066	-0,06870249	367,1878	0	14,40631
2	367,1881	0,7706625	1,589238	1706	0,7495439	0,1499066	-0,09814642	367,1878	0	0,450197
2	367,3603	0,7734075	1,629183	1754	0,7495439	0,1499066	-0,1177757	367,1878	0	-11,25493
2	368,3054	0,7773659	1,686229	1802	0,7495439	0,1442498	-0,1472196	367,6709	0	-21,60946
2	369,618	0,7823837	1,72466	1850	0,7495439	0,1442498	-0,1717562	368,1541	0	-32,86438
2	370,4169	0,786926	1,775475	1898	0,7495439	0,1442498	-0,1913855	367,6709	0	-45,0197
2	373,6621	0,7973747	1,820136	1946	0,7544429	0,1414214	-0,2159221	369,6035	0	-54,92403
2	375,4815	0,7992775	1,884426	2006	0,7495439	0,1385929	-0,2404587	369,6035	0	-66,17896
2	376,8682	0,8096119	1,925439	2054	0,7495439	0,1442498	-0,2699026	368,6372	0	-78,33428
2	379,731	0,8162001	1,974827	2102	0,7495439	0,1329361	-0,2944393	369,1204	0	-89,13902
2	381,7158	0,8234847	2,007858	2150	0,7495439	0,1329361	-0,3140686	368,1541	0	-100,8441
2	384,8423	0,8331516	2,061163	2198	0,7495439	0,1329361	-0,3386052	368,1541	0	-112,0991
2	387,4976	0,8377684	2,104264	2246	0,7446449	0,1244508	-0,3631417	367,1878	0	-123,8042
2	388,6507	0,8520574	2,158522	2294	0,7495439	0,1329361	-0,382771	365,2552	0	-132,8081
2	390,1819	0,8625054	2,20363	2342	0,7495439	0,1272792	-0,4073077	363,3227	0	-142,2623
2	392,7393	0,87436	2,237154	2390	0,7495439	0,1272792	-0,4318443	361,8732	0	-152,6168
2	393,2394	0,8884789	2,275092	2438	0,7495439	0,1216224	-0,4612882	358,4912	0	-161,6207
2	394,7997	0,8996097	2,324343	2486	0,7495439	0,1272792	-0,4809175	355,5924	0	-171,5251
2	395,5978	0,9129621	2,3597	2534	0,7495439	0,1272792	-0,5054541	352,6935	0	-179,1784
2	396,3507	0,926012	2,397637	2582	0,7495439	0,1216224	-0,5299907	348,8284	0	-188,1824
2	396,2105	0,9402704	2,44738	2630	0,7495439	0,1216224	-0,5545273	345,4464	0	-194,0349
2	396,4524	0,9549466	2,494838	2678	0,7495439	0,1216224	-0,5790639	341,5813	0	-201,2381
2	397,1569	0,9718773	2,53354	2726	0,7544429	0,1301077	-0,5986932	339,1656	0	-206,6404

R= 15,49 h= 1,021

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	396,9301	0,9940872	2,627129	2822	0,7446449	0,1187939	-0,6477664	329,9859	0	-220,5965
2	397,6541	1,014199	2,680028	2870	0,7495439	0,1216224	-0,672303	325,9387	0,3153973	-227,7997
2	397,5733	1,031311	2,721486	2918	0,7495439	0,1272792	-0,6968396	320,022	-0,3153973	-235,9032
2	397,8678	1,048046	2,771993	2966	0,7495439	0,1272792	-0,7213762	313,5591	0	-244,9072
2	397,929	1,064422	2,833163	3014	0,7495439	0,1216224	-0,7459128	308,2445	0	-251,6601
2	399,2741	1,081758	2,87532	3062	0,7495439	0,1216224	-0,7704494	302,4468	0	-260,6641
2	400,1675	1,100008	2,929501	3110	0,7495439	0,1272792	-0,794986	298,0985	0	-266,9668
2	400,7166	1,11787	2,9697	3158	0,7495439	0,1272792	-0,8195226	291,8177	0	-274,6202
2	400,8767	1,132339	3,010219	3206	0,7495439	0,1272792	-0,8391519	285,5368	0	-281,3731
2	401,225	1,15128	3,063296	3254	0,7495439	0,1329361	-0,8636885	278,2897	0	-289,0265
2	403,1729	1,1698	3,106396	3302	0,7495439	0,1329361	-0,8882251	271,5257	0	-298,0304
2	403,3605	1,189184	3,157416	3350	0,7495439	0,1385929	-0,9127617	265,2449	0	-303,883
2	404,8132	1,207483	3,197935	3398	0,7495439	0,1329361	-0,9372984	260,1124	-0,3153973	-310,1857
2	406,0558	1,226627	3,251064	3446	0,7495439	0,1329361	-0,961835	256,0652	0	-315,1379
2	407,1524	1,24596	3,289002	3494	0,7495439	0,1329361	-0,9863715	251,0517	0,3153973	-320,5403
2	407,7708	1,264892	3,339458	3542	0,7495439	0,1272792	-1,010908	246,2202	0,3153973	-325,0423
2	409,0439	1,285756	3,384548	3590	0,7495439	0,1385929	-1,035445	241,0878	0	-330,4446
2	407,4896	1,301616	3,431612	3638	0,7495439	0,1385929	-1,055074	235,2901	0	-332,6956
2	408,6028	1,321002	3,472881	3686	0,7495439	0,1329361	-1,079611	231,4249	0	-336,7474
2	408,3443	1,342299	3,5134	3734	0,7495439	0,1442498	-1,104147	225,6272	0	-340,349
2	408,8654	1,35899	3,555431	3782	0,7446449	0,1357645	-1,128684	221,7621	0	-343,5003
2	409,0931	1,381812	3,613047	3830	0,7495439	0,1329361	-1,15322	217,2317	0,3153973	-346,6517
2	409,2248	1,407025	3,656323	3878	0,7495439	0,1385929	-1,182664	213,8497	0,3153973	-348,9027
2	409,4673	1,423564	3,707088	3926	0,7495439	0,1385929	-1,202294	212,0993	0	-350,2533
2	410,0612	1,443815	3,748001	3974	0,7495439	0,1329361	-1,22683	209,5015	0,3153973	-352,5043

R= 15,49 h= 1,021

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	409,0247	1,485738	3,826458	4070	0,7495439	0,1329361	-1,275903	205,1532	0,3153973	-353,8549
2	408,9303	1,500444	3,870053	4118	0,7446449	0,1357645	-1,295533	203,4027	0	-354,7553
2	410,1689	1,523834	3,907927	4166	0,7495439	0,1329361	-1,320069	201,9533	0	-357,0062
2	409,525	1,549411	3,957767	4214	0,7495439	0,1329361	-1,349513	199,8386	0,3153973	-357,4565
2	409,9296	1,566537	4,000687	4262	0,7495439	0,1329361	-1,369143	199,0544	0	-358,3568
2	410,1786	1,588027	4,039513	4310	0,7495439	0,1329361	-1,393679	197,1219	0	-359,7074
2	409,9666	1,609146	4,069212	4358	0,7495439	0,1272792	-1,418216	195,8545	-0,3153973	-360,1576
2	411,7973	1,631264	4,111993	4406	0,7495439	0,1329361	-1,442752	194,7062	0	-362,8588
2	411,5114	1,653005	4,149437	4454	0,7495439	0,1329361	-1,467289	193,2567	0	-363,309
2	410,781	1,674823	4,187055	4502	0,7495439	0,1329361	-1,491826	190,841	0	-363,7592
2	410,3806	1,696715	4,230283	4550	0,7495439	0,1329361	-1,516362	188,2432	0,3153973	-364,6596
2	409,324	1,713851	4,286909	4598	0,7495439	0,1272792	-1,535991	185,0433	0	-365,1098
2	409,2308	1,734409	4,328924	4646	0,7446449	0,1357645	-1,560528	182,1445	0	-366,4604
2	409,991	1,758822	4,381225	4694	0,7495439	0,1385929	-1,585065	180,2119	0	-368,2612
2	410,1516	1,781415	4,415767	4742	0,7495439	0,1442498	-1,609601	177,7962	0	-369,6118
2	410,9524	1,803172	4,461621	4790	0,7495439	0,1385929	-1,634138	176,8299	0	-370,9623
2	410,5318	1,825877	4,501031	4838	0,7495439	0,1442498	-1,658675	174,8973	0	-371,4125
2	409,1002	1,848195	4,565372	4886	0,7495439	0,1442498	-1,683211	172,4816	0	-370,9623
2	409,6423	1,866089	4,602543	4934	0,7495439	0,1442498	-1,70284	170,8501	0,3153973	-372,313
2	409,1152	1,893435	4,639907	4982	0,7495439	0,1499066	-1,732284	169,5828	0	-372,313
2	409,3373	1,91141	4,686832	5030	0,7495439	0,1499066	-1,751914	168,1334	0	-373,2133
2	409,37	1,933494	4,723702	5078	0,7495439	0,1442498	-1,77645	166,2008	0	-374,1137
2	409,6078	1,954526	4,768948	5126	0,7544429	0,1583919	-1,79608	164,7514	0	-375,0141
2	409,8527	1,978676	4,81373	5174	0,7495439	0,1442498	-1,825523	163,3019	0	-375,9145
2	408,8639	1,997217	4,861494	5222	0,7495439	0,1499066	-1,845153	161,8525	0	-375,4643

R= 15,49 h= 1,021

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	408,3666	2,046043	4,939771	5318	0,7446449	0,1583919	-1,899133	158,4705	0	-376,3647
2	408,3824	2,065833	4,983365	5366	0,7495439	0,1555635	-1,918763	156,3559	0,3153973	-377,2651
2	407,8988	2,093637	5,025891	5414	0,7495439	0,1612204	-1,948206	155,0885	0	-377,2651
2	408,783	2,118446	5,050683	5462	0,7544429	0,1640488	-1,972743	154,1223	0	-378,6157
2	408,837	2,135231	5,10041	5510	0,7495439	0,1668772	-1,992372	153,156	0	-379,0659
2	409,0739	2,163175	5,139235	5558	0,7495439	0,1725341	-2,021816	152,6728	0	-379,5161
2	408,7142	2,181092	5,197487	5606	0,7495439	0,1668772	-2,041445	151,7065	0	-379,5161
2	408,3566	2,20451	5,240588	5654	0,7495439	0,1725341	-2,065982	150,7402	0	-379,5161
2	408,5954	2,225661	5,286764	5702	0,7446449	0,1697056	-2,090519	149,1087	0,3153973	-380,4165
2	407,6471	2,250565	5,339408	5750	0,7495439	0,1725341	-2,115055	148,8077	0	-379,5161
2	408,3098	2,274076	5,392195	5798	0,7495439	0,1781909	-2,139592	148,3246	0	-380,4165
2	408,1345	2,297622	5,441444	5846	0,7495439	0,1838478	-2,164129	147,8414	0	-380,4165
2	407,9598	2,321203	5,473725	5894	0,7495439	0,1895046	-2,188665	147,3583	0	-380,4165
2	409,4659	2,367085	5,526081	5944	0,7495439	0,1838478	-2,237739	146,8751	0	-382,2173
2	408,4521	2,409318	5,585861	5992	0,7495439	0,1895046	-2,281904	146,392	0	-381,3169
2	409,3691	2,460505	5,637961	6040	0,7495439	0,1895046	-2,335885	145,4257	0	-382,6675
2	411,2126	2,482999	5,701117	6088	0,7446449	0,1979899	-2,360421	147,0572	-0,3153973	-384,0181
2	402,4976	2,434207	6,027874	6136	0,7446449	0,2262742	-2,306441	168,4344	0,3153973	-365,56

R= 15,49 h= 1,031

гз бв®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	18,73099	0,05398053	0,05141064	109	0	0	0,05398053	0,4784557	0	18,72488
1	31,65758	0,08361603	0,1006766	173	0	0,005656854	0,08342446	0,4784557	0	31,65396
1	43,694	0,1177757	0,1602752	237	0	0	0,1177757	0,4784557	0	43,69138
1	55,73086	0,1473283	0,2256816	301	0	-0,00565685	0,1472196	0,4784557	0	55,72881

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	82,48002	0,2063402	0,3553643	429	-0,00489898	-0,00848528	0,2061075	0,4784557	0	82,47863
1	94,96308	0,2455616	0,4099315	493	-0,00489898	-0,00848528	0,2453661	0,4784557	0	94,96188
1	103,4338	0,2485407	0,4762899	558	0	-0,03959798	0,2453661	0,4784557	0	103,4327
1	122,6043	0,3058798	0,5968001	625	0,00489898	-0,0311127	0,3042539	0,4784557	0	122,6034
1	136,425	0,3399256	0,6581439	689	0,00979796	-0,02828427	0,3386052	0,4784557	0	136,4241
1	151,1373	0,3692643	0,7099912	753	0,00979796	-0,02828427	0,3680491	0,4784557	0	151,1365
1	167,6329	0,4044626	0,7833211	817	0,00979796	-0,03959798	0,4024003	0,4784557	0	167,6322
1	181,8994	0,4430728	0,8595784	881	0,00489898	-0,09899495	0,4318443	0,4784557	0	181,8988
1	199,2868	0,4739559	1,027968	945	0,00979796	-0,08485281	0,4661955	0,4784557	0	199,2862
1	215,7825	0,506591	1,094359	1009	0,00489898	-0,1046518	0,4956394	0,4784557	0	215,7819
1	235,8448	0,5391791	1,244675	1073	0,00489898	-0,09899495	0,5299907	0,4784557	0	235,8443
1	255,0154	0,5613476	1,349881	1137	0,00979796	-0,04525483	0,5594347	0,4784557	0	255,015
1	276,4153	0,5939915	1,444559	1201	0,01469694	-0,07636753	0,5888785	0,4784557	0	276,4149
1	301,3817	0,631797	1,581299	1265	0,01959592	-0,1018234	0,6232298	0,4784557	0	301,3814
1	326,794	0,6644312	1,640644	1329	0,02939388	-0,09050967	0,657581	0,4784557	0	326,7937
1	340,1689	0,6951513	1,697335	1393	0,02939388	-0,1018234	0,687025	0,4784557	0	340,1686
1	353,0981	0,7278019	1,767195	1457	0,0244949	-0,09333809	0,7213762	0,4784557	0	353,0977
1	358,8938	0,756996	1,831381	1521	0,0244949	-0,09333809	0,7508201	0,4784557	0	358,8935
1	364,6896	0,791443	1,90651	1585	0,03429286	-0,09333809	0,7851714	0,4784557	0	364,6893
1	369,5937	0,8261921	1,982255	1649	0,03429286	-0,09899495	0,8195226	0,4784557	0	369,5934
1	372,2687	0,8566401	2,031901	1713	0,03919184	-0,1074802	0,8489665	0,4784557	0	372,2684
1	376,2812	0,888213	2,12956	1777	0,04409081	-0,08202438	0,8833178	0,4784557	0	376,2809
1	376,2809	0,9165926	2,195326	1841	0,0489898	-0,06788225	0,9127617	0	0	376,2809
1	380,7392	0,9512261	2,258516	1905	0,0489898	-0,07353911	0,947113	0	0	380,7392
1	381,6309	0,9814761	2,32217	1969	0,05388878	-0,08202438	0,9765569	0	0	381,6309

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	384,3058	1,04754	2,411206	2097	0,06368674	-0,1046518	1,040352	0	0	384,3058
1	389,21	1,111917	2,488931	2164	0,06858572	-0,1527351	1,09924	0	0	389,21
1	390,1016	1,186583	2,595003	2228	0,0734847	-0,2234457	1,163035	0	0	390,1016
1	391,8849	1,260194	2,695185	2292	0,07838368	-0,2771859	1,22683	0	0	391,8849
1	392,7766	1,342268	2,801877	2356	0,08328266	-0,3592102	1,290625	0	0	392,7766
1	390,5475	1,430163	2,915138	2420	0,09308061	-0,4497199	1,354421	0	0	390,5475
1	390,9933	1,517126	3,01978	2484	0,1028786	-0,5289159	1,418216	0	0	390,9933
1	390,5475	1,605163	3,141978	2548	0,1175755	-0,6052834	1,482011	0	0	390,5475
2	375,8655	1,617585	3,217694	2605	0,1371714	-0,6335677	1,482011	4,784557	0	375,8351
2	363,5987	1,59377	3,269527	2694	0,1469694	-0,6279109	1,457474	13,39676	0	363,3518
2	353,742	1,565498	3,331094	2764	0,1763633	-0,6052834	1,432938	27,75043	0	352,6519
2	346,7992	1,545067	3,38834	2828	0,2008582	-0,5911413	1,413309	38,75491	0	344,6269
2	338,4154	1,515839	3,46305	2892	0,230252	-0,5741707	1,383865	52,15167	0	334,3728
2	328,994	1,498923	3,519472	2956	0,2498479	-0,5685139	1,364235	63,63461	0	322,7812
2	320,7718	1,471142	3,600311	3020	0,2743429	-0,5543717	1,334791	74,16063	0	312,0813
2	316,3169	1,45286	3,679826	3084	0,2988378	-0,5402296	1,315162	85,64357	0	304,5022
2	308,4209	1,432833	3,736961	3148	0,3233326	-0,5317443	1,290625	95,21268	0	293,3564
2	302,2929	1,413684	3,796774	3212	0,3478276	-0,5119453	1,270996	107,1741	0	282,6565
2	296,9968	1,396979	3,85538	3276	0,3674235	-0,5006316	1,251367	116,2647	0	273,294
2	291,8101	1,370363	3,91165	3340	0,3919184	-0,4808326	1,221923	127,2692	0	262,5941
2	286,5692	1,357211	3,971441	3404	0,4164133	-0,4723473	1,202294	138,2737	0	251,0025
2	283,5298	1,344098	4,029325	3468	0,4360092	-0,4666905	1,182664	148,3213	0	241,6401
2	279,9287	1,324023	4,062749	3532	0,4605041	-0,4468915	1,158128	158,8473	0	230,4943
2	277,8989	1,308607	4,120634	3596	0,484999	-0,4384062	1,133591	168,8949	0	220,6861
2	274,6196	1,302987	4,168642	3660	0,5045949	-0,4497199	1,113962	177,5071	0	209,5403

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	274,1128	1,288677	4,369867	3788	0,5486857	-0,4638621	1,069796	198,0807	0	189,4779
2	273,7899	1,272122	4,486126	3852	0,5731806	-0,444063	1,045259	208,1282	0	177,8863
2	275,1386	1,267103	4,545291	3916	0,5927765	-0,4497199	1,02563	218,1758	0	167,6322
2	275,2844	1,246491	4,628271	3980	0,6172714	-0,4129503	1,001094	226,788	0	156,0406
2	277,1786	1,238438	4,676986	4044	0,6417663	-0,4101219	0,9765569	236,8356	0	144,0032
2	282,4877	1,225805	4,751829	4108	0,6662613	-0,3903229	0,9520203	247,3616	0	136,4241
2	284,8317	1,219601	4,882505	4172	0,6858571	-0,3959798	0,9274837	256,4523	0	123,9409
2	290,7909	1,202467	4,991367	4236	0,7103521	-0,3422397	0,9078544	267,4567	0	114,1326
2	294,6529	1,20014	5,037937	4300	0,7348469	-0,3337544	0,8882251	276,0689	0	102,9868
2	301,0873	1,193612	5,098807	4364	0,7593418	-0,3196123	0,8636885	286,595	0	92,2869
2	307,5543	1,187219	5,155483	4428	0,7789378	-0,3139554	0,8391519	296,1641	0	82,92446
2	313,1769	1,186174	5,212206	4492	0,8034326	-0,2998133	0,8195226	305,2547	0	69,99538
2	319,5632	1,181485	5,271528	4556	0,8230286	-0,2941564	0,794986	314,3454	0	57,51212
2	325,7954	1,176269	5,316365	4620	0,8426244	-0,2828427	0,7704494	322,4792	0	46,36636
2	334,8159	1,184967	5,363784	4684	0,8720184	-0,2828427	0,7508201	333,0052	0	34,77477
2	342,0841	1,185938	5,445786	4748	0,8916143	-0,2771859	0,7311909	341,1389	0	25,41233
2	348,5086	1,184649	5,496675	4812	0,9112102	-0,271529	0,7066543	348,3158	0	11,59159
2	356,4498	1,182636	5,563755	4876	0,9357051	-0,2404163	0,6821176	356,4495	0	0,4458304
2	364,2033	1,190514	5,630579	4940	0,9602	-0,2375879	0,6624883	364,1048	0	-8,470778
2	370,9171	1,194376	5,678437	5004	0,9846949	-0,2234457	0,6379517	370,3247	0	-20,95403
2	377,3589	1,197311	5,733762	5068	1,004291	-0,2064752	0,6183224	376,0662	0	-31,20813
2	382,674	1,205178	5,785594	5132	1,028786	-0,2036468	0,5937858	380,3723	0	-41,90806
2	389,6812	1,208363	5,836341	5196	1,048382	-0,192333	0,5692493	386,1137	0	-52,60799
2	396,4505	1,219404	5,924492	5261	1,072876	-0,1838478	0,5496199	391,8552	0	-60,18711
2	401,2005	1,229101	5,974886	5325	1,097371	-0,1753625	0,5250834	395,2044	0	-69,10371

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	410,7326	1,250594	6,103368	5453	1,141462	-0,1725341	0,4809175	401,9028	0	-84,70778
2	415,5609	1,257908	6,167446	5517	1,161058	-0,1612204	0,4563809	404,7735	0	-94,07022
2	419,0904	1,273332	6,229662	5581	1,185553	-0,1583919	0,4367516	406,6873	0	-101,2035
2	422,834	1,287764	6,302403	5645	1,210048	-0,1555635	0,412215	408,6012	0	-108,7826
2	425,3072	1,29866	6,356955	5709	1,229644	-0,1555635	0,3876784	409,0796	0	-116,3617
2	427,5154	1,317303	6,403253	5773	1,254139	-0,1527351	0,3729564	409,5581	0	-122,6034
2	429,481	1,328054	6,463559	5837	1,273735	-0,1527351	0,3435125	409,5581	0	-129,2908
2	430,251	1,348222	6,510623	5901	1,29823	-0,1555635	0,3287905	409,0796	0	-133,3033
2	432,8449	1,360321	6,571456	5965	1,317825	-0,1555635	0,2993466	410,0365	0	-138,6533
2	434,1314	1,378034	6,657853	6029	1,34232	-0,1470782	0,27481	409,0796	0	-145,3407
2	434,5844	1,39849	6,699615	6093	1,366815	-0,1499066	0,2551807	408,6012	0	-148,0157
2	436,7272	1,418545	6,763284	6157	1,39131	-0,1527351	0,2306441	409,0796	0	-152,9198
2	436,9357	1,438694	6,815116	6221	1,415805	-0,1442498	0,2110148	408,1227	0	-156,0406
2	437,2122	1,455205	6,881827	6285	1,435401	-0,1499066	0,1864782	406,6873	0	-160,4989
2	438,593	1,476195	6,937879	6349	1,459896	-0,1470782	0,1619416	406,2089	0	-165,4031
2	438,5541	1,498255	7,007164	6413	1,484391	-0,1499066	0,137405	405,252	0	-167,6322
2	438,1674	1,516021	7,045851	6477	1,503987	-0,1499066	0,1177757	403,3381	0	-171,1989
2	439,9285	1,53837	7,100238	6541	1,528482	-0,1470782	0,0932391	403,3381	0	-175,6572
2	439,691	1,558485	7,157772	6605	1,548077	-0,1640488	0,07360981	401,9028	0	-178,3322
2	440,0269	1,58277	7,23661	6669	1,572572	-0,1725341	0,04907321	400,4674	0	-182,3447
2	439,5934	1,604474	7,297821	6733	1,597067	-0,1527351	0,01962928	398,5536	0	-185,4655
2	439,9587	1,623347	7,356463	6797	1,616663	-0,1470782	0,004907321	396,6398	0	-190,3696
2	439,9579	1,647117	7,406463	6861	1,641158	-0,1385929	-0,01962928	394,2475	0	-195,2737
2	439,4421	1,667469	7,466354	6925	1,660754	-0,1442498	-0,03925857	392,3336	0	-197,9487
2	440,1932	1,692375	7,532204	6989	1,685249	-0,1414214	-0,06379517	390,8983	0	-202,407

R= 15,49 h= 1,031

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	441,6429	1,779207	7,671252	7119	1,768532	-0,1272792	-0,1472196	387,0706	0	-212,6611
2	442,3185	1,827856	7,751657	7183	1,812622	-0,1301077	-0,1962928	386,1137	0	-215,7819
2	443,3896	1,876541	7,830533	7247	1,856713	-0,1272792	-0,2404587	386,5922	0	-217,1194
2	444,7316	1,930675	7,910348	7311	1,905703	-0,1216224	-0,2846246	386,1137	0	-220,6861
2	444,7502	1,981597	7,983947	7375	1,949794	-0,1301077	-0,3287905	382,7646	0	-226,4818
2	444,5283	2,032108	8,076717	7439	1,993885	-0,1216224	-0,3729564	380,3723	0	-230,0485
3	436,5403	2,051665	8,146681	7496	2,008582	-0,1301077	-0,397493	371,2816	0	-229,6027
3	422,3909	2,019065	8,206429	7560	1,974289	-0,1442498	-0,397493	355,971	0	-227,3735
3	411,6247	1,987082	8,270632	7624	1,939996	-0,1640488	-0,397493	344,0096	0	-226,036
3	399,7066	1,95989	8,330123	7688	1,910602	-0,1810193	-0,397493	329,656	0	-226,036
3	389,9001	1,931785	8,375217	7752	1,881208	-0,1866762	-0,397493	317,6946	0	-226,036
3	369,4254	1,877611	8,454975	7818	1,82242	-0,2149605	-0,397493	291,858	0	-226,4818
3	350,4594	1,818312	8,52801	7882	1,758734	-0,2347594	-0,397493	265,5429	0	-228,711
3	329,3128	1,756073	8,609794	7946	1,690148	-0,2630437	-0,397493	237,7925	0	-227,8194
3	311,174	1,700157	8,684692	8010	1,626461	-0,2884996	-0,4024003	210,999	0	-228,711
3	293,7642	1,645878	8,775513	8074	1,567673	-0,3054701	-0,397493	183,2485	0	-229,6027
3	277,7746	1,585217	8,853391	8138	1,499088	-0,3280975	-0,397493	155,0196	0	-230,4943
3	264,2383	1,534755	8,934953	8202	1,4403	-0,350725	-0,397493	126,7908	0	-231,8318
3	251,9516	1,476141	9,00993	8266	1,371714	-0,3733524	-0,397493	97,60496	0	-232,2776
3	241,5821	1,421136	9,091372	8330	1,308028	-0,3931514	-0,3925857	67,94071	0	-231,8318
3	236,7721	1,373898	9,170577	8394	1,24924	-0,4157788	-0,3925857	41,14719	0	-233,1693
3	233,7567	1,316205	9,235654	8544	1,170856	-0,4553768	-0,3925857	8,133746	0	-233,6151
3	240,9807	1,264779	9,424953	8833	1,067978	-0,5487148	-0,397493	-37,31955	0	-238,0735
3	243,046	1,251651	9,486291	8897	1,033685	-0,5798275	-0,4024003	-55,0224	0	-236,7359
3	247,9374	1,229042	9,559608	8971	0,9895939	-0,6109402	-0,397493	-73,68217	0	-236,7359

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
3	255,9449	1,200913	9,673882	9099	0,9259071	-0,6533666	-0,397493	-100,4757	0	-235,3985
3	263,5344	1,189023	9,728775	9163	0,8916143	-0,6788225	-0,397493	-115,7863	0	-236,7359
3	269,0686	1,177095	9,781384	9227	0,8622204	-0,6957931	-0,397493	-128,7046	0	-236,2901
3	276,9683	1,16776	9,858103	9291	0,8279275	-0,7212489	-0,397493	-144,4936	0	-236,2901
3	283,9217	1,163574	9,912671	9355	0,7936347	-0,7523617	-0,397493	-157,4119	0	-236,2901
3	293,408	1,151201	9,979886	9419	0,7642408	-0,7636753	-0,397493	-172,7225	0	-237,1818
3	300,8991	1,142216	10,03605	9483	0,7299479	-0,7834743	-0,397493	-185,1624	0	-237,1818
3	309,9384	1,133848	10,08879	9547	0,7005541	-0,8004449	-0,3925857	-199,516	0	-237,1818
3	318,7401	1,128428	10,15457	9611	0,6760591	-0,8089302	-0,4024003	-212,4343	0	-237,6276
3	328,8036	1,124513	10,22009	9675	0,6368673	-0,8372144	-0,397493	-226,788	0	-238,0735
3	337,8186	1,116703	10,27056	9739	0,6074734	-0,8485281	-0,397493	-239,2278	0	-238,5193
3	346,8665	1,107637	10,32526	9803	0,5731806	-0,8626703	-0,3925857	-253,1031	0	-237,1818
3	355,8711	1,107914	10,39708	9867	0,5437868	-0,8796408	-0,397493	-264,1075	0	-238,5193
3	364,6896	1,098341	10,44222	9931	0,5094939	-0,8881261	-0,397493	-277,0258	0	-237,1818
3	372,9214	1,10408	10,50758	9995	0,470302	-0,9164104	-0,397493	-288,5088	0	-236,2901
3	380,1951	1,096241	10,57026	10059	0,4458071	-0,9192388	-0,397493	-298,5564	0	-235,3985
3	388,4699	1,095365	10,62265	10123	0,4066153	-0,9362093	-0,397493	-310,0393	0	-234,061
3	394,0619	1,100504	10,68142	10187	0,3821204	-0,9503515	-0,4024003	-318,6515	0	-231,8318
3	401,9893	1,097887	10,73382	10251	0,3478276	-0,9644936	-0,3925857	-329,656	0	-230,0485
3	408,0813	1,100727	10,79701	10315	0,3184336	-0,9758074	-0,397493	-338,2682	0	-228,2652
3	414,9149	1,103964	10,85938	10379	0,2841408	-0,9899495	-0,397493	-347,3589	0	-226,9277
3	422,7452	1,111403	10,91814	10450	0,24005	-1,009748	-0,397493	-358,3633	0	-224,2527
3	432,4717	1,126219	10,99831	10514	0,1812622	-1,038033	-0,397493	-372,717	0	-219,3486
3	439,5477	1,154117	11,07559	10578	0,1126765	-1,077631	-0,397493	-384,6784	0	-212,6611
3	443,7382	1,186653	11,16206	10642	0,04409081	-1,117229	-0,397493	-392,3336	0	-207,3112

R= 15,49 h= 1,031

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
4	443,7605	1,226857	11,28549	10763	0	-1,148341	-0,4318443	-388,506	0	-214,4444
4	448,482	1,232647	11,34565	10829	0	-1,137028	-0,4760101	-382,2861	0	-234,5068
4	451,7923	1,233167	11,43224	10893	0	-1,108743	-0,5398053	-374,1523	0	-253,2317
4	452,84	1,232694	11,51685	10957	0	-1,074802	-0,6036005	-365,0617	0	-267,9441
4	456,9591	1,241216	11,58883	11021	0	-1,046518	-0,6673957	-356,9279	0	-285,3315
4	458,059	1,261028	11,67476	11085	0	-1,023891	-0,7360982	-346,8804	0	-299,1522
4	459,4883	1,272725	11,74486	11149	0	-0,9899495	-0,7998933	-336,8328	0	-312,5271
4	461,8589	1,289304	11,83904	11213	0	-0,9616652	-0,8587812	-327,2637	0	-325,902
4	463,1904	1,296387	11,92142	11277	0	-0,9107535	-0,9225764	-319,1299	0	-335,7103
4	463,5536	1,323417	12,01315	11341	0	-0,8768125	-0,9912789	-310,5178	0	-344,1811
4	463,0814	1,35395	12,08832	11405	0	-0,8485281	-1,055074	-298,5564	0	-353,9893
4	460,6273	1,386731	12,16182	11469	0	-0,8259007	-1,113962	-287,0734	0	-360,231
4	453,8208	1,428804	12,23679	11533	0	-0,8089302	-1,177757	-273,6767	0	-362,0143
4	452,1458	1,472634	12,30129	11597	0	-0,7919596	-1,241552	-261,7153	0	-368,7018
4	445,4862	1,533936	12,37818	11661	0	-0,7976165	-1,310255	-244,0124	0	-372,7142
4	441,2099	1,587388	12,46099	11725	0	-0,8032733	-1,369143	-229,6587	0	-376,7267
4	429,2439	1,653911	12,54862	11789	0	-0,8259007	-1,432938	-205,7359	0	-376,7267
4	419,7948	1,727587	12,62461	11853	0	-0,854185	-1,50164	-186,1193	0	-376,2809
4	409,4555	1,801467	12,70597	11917	-0,00489898	-0,873984	-1,57525	-165,5457	0	-374,4976
4	406,1696	1,866511	12,81227	11981	0	-0,9107535	-1,629231	-150,7135	0	-377,1725
4	401,2584	1,937243	12,9023	12045	0	-0,9503515	-1,688118	-134,446	0	-378,0642
4	388,4213	2,027741	13,00738	12109	0	-1,012577	-1,756821	-101,4326	0	-374,9434
4	367,4001	2,160955	13,21962	12197	-0,00489898	-1,100258	-1,859875	-62,67769	0	-362,0143

R=	15,49	h=	1,023							
ГЗ БВ®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	18,34552	0,04489989	0,04838063	293	0,04409081	0,008485281	0	18,3235	0	-0,8986338
1	37,62212	0,08708616	0,1473648	357	0,08328266	0,02545585	0	37,61139	0	-0,8986338
1	52,55951	0,1241615	0,2056186	421	0,1175755	0,03959798	0,004907321	52,55951	0	0
1	68,95567	0,161171	0,2921717	485	0,1518684	0,05374012	0,004907321	68,95421	0	-0,4493169
1	84,87743	0,1907459	0,3629601	549	0,1812622	0,05939697	0	84,86672	0	-1,347951
1	101,2614	0,2222613	0,4412451	613	0,2106561	0,07071068	0,004907321	101,2614	0	0
1	116,2234	0,2557969	0,5724763	677	0,244949	0,07353911	-0,00490732	116,2095	0	-1,797268
1	131,1608	0,2910395	0,6538883	741	0,2792418	0,08202438	0	131,1577	0	-0,8986338
1	147,5551	0,3279512	0,7190031	805	0,3135347	0,09616652	0	147,5524	0	-0,8986338
1	162,0688	0,3577261	0,7931369	869	0,3429286	0,1018234	0	162,0183	0	-4,043852
1	177,4947	0,3946442	0,8423718	933	0,3772214	0,1159655	0	177,4486	0	-4,043852
1	192,4392	0,4244149	0,9058924	997	0,4066153	0,1216224	0	192,3967	0	-4,043852
1	207,3935	0,4597043	0,9770581	1061	0,4409081	0,1301077	0	207,3448	0	-4,493169
1	221,8563	0,4927881	1,02032	1125	0,470302	0,1470782	-0,00490732	221,8108	0	-4,493169
1	237,2836	0,5263915	1,072657	1189	0,5045949	0,1499066	0	237,2411	0	-4,493169
1	251,2734	0,5594569	1,135176	1253	0,5339888	0,1668772	0	251,2248	0	-4,942486
1	265,7287	0,5947235	1,191228	1317	0,5682816	0,1753625	0	265,6907	0	-4,493169
1	280,6823	0,6244869	1,243932	1381	0,5976755	0,1810193	0	280,6388	0	-4,942486
1	296,1104	0,6597697	1,294999	1445	0,6319684	0,1895046	0	296,0692	0	-4,942486
1	310,0923	0,6967066	1,354521	1509	0,6662613	0,2036468	0,004907321	310,0529	0	-4,942486
1	324,0977	0,7209549	1,403006	1573	0,6907561	0,2064752	0	324,0366	0	-6,290437
1	338,5696	0,7617453	1,461367	1637	0,7299479	0,2177889	0	338,5025	0	-6,739753
1	353,5149	0,7844693	1,515576	1701	0,7544429	0,2149605	0	353,4506	0	-6,739753
1	367,9703	0,8252612	1,582931	1765	0,7936347	0,2262742	0	367,9165	0	-6,290437
1	380,9806	0,8550836	1,649498	1829	0,8230286	0,231931	0	380,9359	0	-5,84112

R= 15,49 h= 1,023

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	407,5283	0,9187295	1,773246	1957	0,8867153	0,2404163	0	407,4567	0	-7,638387
1	420,0479	0,9497747	1,842905	2021	0,9210081	0,231931	0,004907321	419,9939	0	-6,739753
1	429,7226	0,9810851	1,92338	2085	0,955301	0,2234457	0	429,6378	0	-8,537021
1	438,3839	1,007297	1,994796	2149	0,9846949	0,212132	0,004907321	438,3173	0	-7,638387
1	444,1694	1,033781	2,087888	2213	1,014089	0,2008183	0	444,1037	0	-7,638387
1	449,489	1,069205	2,141714	2277	1,053281	0,1838478	0	449,4079	0	-8,537021
1	454,2941	1,102546	2,217587	2347	1,087574	0,1810193	0,004907321	454,2299	0	-7,638387
1	459,6309	1,164117	2,293926	2411	1,15126	0,1725341	0	459,534	0	-9,435655
1	462,0606	1,225982	2,378295	2475	1,214947	0,1640488	-0,00490732	461,945	0	-10,33429
1	465,8981	1,288072	2,458675	2539	1,278634	0,1555635	0,004907321	465,8026	0	-9,435655
1	467,3445	1,352308	2,544649	2603	1,34232	0,1640488	0	467,2492	0	-9,435655
1	469,264	1,415229	2,630791	2667	1,406007	0,1612204	-0,00490732	469,1779	0	-8,986338
1	470,702	1,477609	2,706052	2731	1,469694	0,1527351	0	470,6246	0	-8,537021
2	460,6827	1,496543	2,774874	2791	1,48929	0,1470782	-0,00490732	460,4984	0	-13,03019
2	449,0285	1,47111	2,847704	2855	1,464795	0,1329361	-0,02944393	448,4435	0	-22,91516
2	439,5428	1,451312	2,908846	2919	1,445199	0,1216224	-0,05398053	438,3173	0	-32,80013
2	429,9697	1,427363	2,947533	2983	1,420704	0,1131371	-0,07851714	427,709	0	-44,03305
2	422,9053	1,408998	2,99976	3047	1,401108	0,1074802	-0,1030537	419,5117	0	-53,46871
2	413,1087	1,385184	3,04643	3111	1,376613	0,09899495	-0,1177757	407,9389	0	-65,15095
2	405,5966	1,364043	3,109985	3185	1,352118	0,09616652	-0,152127	397,8128	0	-79,07977
2	396,4982	1,336178	3,16003	3249	1,322724	0,07919596	-0,1717562	385,7578	0	-91,66064
2	389,4692	1,324159	3,221383	3313	1,308028	0,07636753	-0,1913855	375,6317	0	-102,8936
2	383,2617	1,303643	3,272466	3377	1,283533	0,07353911	-0,2159221	365,0233	0	-116,8224
2	376,8397	1,286942	3,348585	3441	1,263937	0,05656854	-0,2355514	354,415	0	-128,0553
2	371,629	1,267829	3,396715	3505	1,239442	0,05939697	-0,260088	343,8067	0	-141,0855

R= 15,49 h= 1,023

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	363,1316	1,23515	3,53344	3633	1,195351	0,03394112	-0,3091612	323,0722	0	-165,7979
2	360,2141	1,215093	3,589071	3697	1,170856	0,02545585	-0,3238832	312,946	0	-178,3788
2	356,8544	1,199697	3,659157	3761	1,146361	0,01697056	-0,3533271	300,8911	0	-191,8583
2	356,1128	1,186939	3,735622	3825	1,126765	0,01131371	-0,3729564	292,2115	0	-203,5405
2	353,2826	1,170099	3,807043	3889	1,10227	-0,00282843	-0,3925857	280,1566	0	-215,2228
2	351,9242	1,160279	3,868697	3953	1,082674	-0,00848528	-0,4171223	270,5127	0	-225,1078
2	351,1871	1,146873	3,917948	4017	1,05818	-0,02262742	-0,4416589	258,9399	0	-237,2393
2	349,9326	1,134236	3,980754	4081	1,033685	-0,02545585	-0,4661955	246,4028	0	-248,4722
2	350,428	1,125057	4,041896	4145	1,014089	-0,03676955	-0,4858248	237,2411	0	-257,9079
2	351,9197	1,114367	4,118755	4209	0,9895939	-0,04525483	-0,5103614	225,6683	0	-270,0395
2	352,1198	1,102358	4,190466	4273	0,9650989	-0,05374012	-0,5299907	213,6134	0	-279,9244
2	356,599	1,097727	4,263059	4337	0,9455031	-0,05939697	-0,5545273	203,9695	0	-292,5053
2	360,2969	1,090799	4,315779	4401	0,9210081	-0,07919596	-0,5790639	190,9501	0	-305,5355
2	362,2296	1,082073	4,389857	4465	0,8965132	-0,09333809	-0,5986932	178,8952	0	-314,9711
2	367,0553	1,079866	4,436782	4529	0,8769174	-0,09333809	-0,6232298	168,2868	0	-326,2041
2	367,7771	1,073635	4,525437	4593	0,8524224	-0,1131371	-0,642859	156,2319	0	-332,9438
2	371,6143	1,073838	4,587677	4657	0,8328266	-0,1187939	-0,6673957	146,588	0	-341,4808
2	372,6414	1,07162	4,644909	4721	0,8083316	-0,1272792	-0,6919323	135,0152	0	-347,322
2	372,7399	1,070588	4,708578	4785	0,7838367	-0,1357645	-0,7164689	124,4069	0	-351,3658
2	373,9066	1,072023	4,770846	4849	0,7642408	-0,1527351	-0,7360982	114,763	0	-355,859
2	374,4039	1,0689	4,827707	4913	0,7397459	-0,1555635	-0,7557275	103,1902	0	-359,9028
2	375,7047	1,07573	4,887822	4977	0,7201499	-0,1725341	-0,780264	94,99287	0	-363,4974
2	378,1962	1,079077	4,932166	5041	0,6956551	-0,1810193	-0,8048006	85,34892	0	-368,4398
2	376,5773	1,077108	4,996401	5105	0,6711602	-0,1951615	-0,8195226	75,70497	0	-368,8892
2	379,08	1,088856	5,067427	5169	0,6515642	-0,2008183	-0,8489665	67,98981	0	-372,933

R= 15,49 h= 1,023

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	381,4467	1,104763	5,179821	5297	0,6074734	-0,231931	-0,8931324	48,70193	0	-378,3248
2	384,2141	1,113454	5,233976	5361	0,5829786	-0,2404163	-0,9176691	37,61139	0	-382,3687
2	383,7692	1,118088	5,27832	5425	0,5633826	-0,25173	-0,932391	27,00305	0	-382,818
2	386,7809	1,134114	5,341739	5489	0,5388877	-0,2658722	-0,961835	16,87691	0	-386,4125
2	390,6005	1,153142	5,388407	5561	0,5290898	-0,2941564	-0,9814642	10,60834	0	-390,4564
2	392,935	1,192573	5,497208	5734	0,484999	-0,3535534	-1,030537	-13,50152	0	-392,7029
2	395,8209	1,223611	5,588905	5830	0,4507061	-0,4129503	-1,059981	-32,30722	0	-394,5002
2	398,6019	1,25195	5,64807	5894	0,4164133	-0,4666905	-1,084518	-46,77314	0	-395,8482
2	401,3888	1,275072	5,726144	5958	0,3919184	-0,4921463	-1,109055	-57,86367	0	-397,1961
2	402,8116	1,304358	5,786342	6022	0,3723224	-0,5374012	-1,128684	-67,02542	0	-397,1961
2	404,7878	1,333811	5,838427	6086	0,3478276	-0,562857	-1,158128	-75,70497	0	-397,6454
2	406,9401	1,358773	5,90531	6150	0,3282316	-0,602455	-1,17285	-84,38453	0	-398,0948
2	409,3755	1,393507	5,969894	6214	0,3037367	-0,6448814	-1,197386	-93,54627	0	-398,5441
2	412,0008	1,430991	6,035009	6278	0,2792418	-0,6816509	-1,22683	-102,708	0	-398,9934
2	414,0777	1,458283	6,111718	6342	0,2547469	-0,7127636	-1,24646	-112,352	0	-398,5441
2	416,2373	1,488572	6,180904	6406	0,235151	-0,7467048	-1,266089	-120,0671	0	-398,5441
2	418,2478	1,52615	6,247937	6470	0,2106561	-0,794788	-1,285718	-128,2645	0	-398,0948
2	420,6779	1,565079	6,314119	6534	0,1910602	-0,834386	-1,310255	-135,9796	0	-398,0948
2	424,9947	1,615953	6,394356	6598	0,1665653	-0,8881261	-1,339699	-145,1414	0	-399,4427
2	425,767	1,655823	6,464287	6662	0,1420704	-0,9418662	-1,354421	-153,3387	0	-397,1961
2	430,5134	1,71351	6,555041	6726	0,1224745	-1,009748	-1,378957	-169,2513	0	-395,8482
2	427,8953	1,776967	6,645724	6790	0,09797959	-1,091773	-1,398587	-175,0376	0	-390,4564
2	429,8903	1,821287	6,713408	6854	0,0734847	-1,134199	-1,423123	-179,8596	0	-390,4564

R=	15,49	h=	1,054							
ГЗ БВ®С	G MPa	κ%	S %	Time	κ1 %	κ2 %	κ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	14,82746	0,03616639	0,03713414	80	0	-0,01131371	-0,03435124	0	0	-14,82746
1	26,1661	0,05996482	0,09218077	127	0	-0,01131371	-0,05888785	0	0	-26,1661
1	35,76034	0,07872065	0,1166546	159	0	-0,00565685	-0,07851714	0	0	-35,76034
1	43,61017	0,09814642	0,1478676	191	0	0	-0,09814642	0	0	-43,61017
1	53,64051	0,1081092	0,1739033	223	0	-0,00565685	-0,1079611	0	0	-53,64051
1	62,36254	0,122683	0,2038584	255	0	0	-0,122683	0	0	-62,36254
1	75,01533	0,1473283	0,2385264	287	0,00489898	0,002828427	-0,1472196	-0,93603	0	-75,00949
1	83,31646	0,1571361	0,269698	319	0,00489898	0,002828427	-0,1570343	-1,87206	0	-83,29543
1	92,0472	0,1672321	0,3016606	351	0	-0,01131371	-0,1668489	-2,340075	0	-92,01745
1	102,0746	0,1914691	0,3328736	383	0	-0,00565685	-0,1913855	-2,340075	0	-102,0478
1	112,5298	0,2110906	0,3609968	415	0	0,005656854	-0,2110148	-1,87206	0	-112,5142
1	121,2588	0,2209019	0,4072845	447	0	0,005656854	-0,2208295	-2,340075	0	-121,2363
1	129,9794	0,2307135	0,440745	479	0	0,005656854	-0,2306441	-2,340075	0	-129,9583
1	141,3163	0,2552434	0,4708901	511	0	0,005656854	-0,2551807	-2,340075	0	-141,2969
1	149,1651	0,2699026	0,4915245	543	0	0	-0,2699026	-2,340075	0	-149,1468
1	157,4438	0,2846808	0,5219569	575	0	0,005656854	-0,2846246	-1,87206	0	-157,4327
1	165,2931	0,2993466	0,5531699	607	0	0	-0,2993466	-1,87206	0	-165,2825
1	176,6435	0,3189759	0,5735489	639	0	0	-0,3189759	-2,80809	0	-176,6212
1	183,637	0,3337458	0,5998132	671	0	0,005656854	-0,3336979	-3,74412	0	-183,5988
1	191,0492	0,3484198	0,6235229	703	0	0	-0,3484198	-3,74412	0	-191,0125
1	198,4815	0,3631417	0,6554855	735	0	0	-0,3631417	-4,68015	0	-198,4263
1	208,5202	0,3828964	0,6844966	767	0,00489898	0,008485281	-0,382771	-5,148165	0	-208,4566
1	214,6355	0,3975333	0,7123642	799	-0,00489898	0,002828427	-0,397493	-5,61618	0	-214,562
1	220,7513	0,4122538	0,7329986	831	0	0,005656854	-0,412215	-6,084195	0	-220,6674
1	228,6251	0,4269744	0,7577907	863	0	0,005656854	-0,426937	-7,020225	0	-228,5173

R= 15,49 h= 1,054

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	244,798	0,4614269	0,7996309	927	0	0,01131371	-0,4612882	-8,424271	0	-244,653
1	253,0792	0,4761446	0,827754	959	0	0,01131371	-0,4760101	-8,424271	0	-252,939
1	260,489	0,4908625	0,8551277	991	0	0,01131371	-0,4907321	-8,424271	0	-260,3527
1	269,6425	0,5104868	0,8880942	1023	0	0,01131371	-0,5103614	-8,424271	0	-269,5108
1	275,3238	0,5251138	0,91403	1055	0	0,005656854	-0,5250834	-8,892285	0	-275,1801
1	281,4413	0,5399238	0,9362407	1087	0	0,01131371	-0,5398053	-9,3603	0	-281,2856
1	287,9949	0,5644553	0,967931	1119	0	0,01131371	-0,5643419	-9,828316	0	-287,8271
1	294,5486	0,574268	1,000212	1151	0	0,01131371	-0,5741566	-10,29633	0	-294,3686
1	299,763	0,5889057	1,025754	1183	0	0,005656854	-0,5888785	-9,828316	0	-299,6018
1	302,8297	0,6037065	1,059292	1215	0	0,01131371	-0,6036005	-10,29633	0	-302,6546
1	310,2392	0,6232298	1,083829	1247	0	0	-0,6232298	-10,29633	0	-310,0683
1	314,194	0,6379768	1,111139	1279	0	0,005656854	-0,6379517	-11,23236	0	-313,9932
1	318,1334	0,6527717	1,13668	1311	0	0,01131371	-0,6526737	-11,70037	0	-317,9181
1	321,184	0,6674197	1,161473	1343	0	0,005656854	-0,6673957	-11,70037	0	-320,9708
1	326,3974	0,6821176	1,176195	1375	0	0	-0,6821176	-11,23236	0	-326,2041
1	331,1762	0,7017697	1,199155	1407	0	0,005656854	-0,7017469	-10,76435	0	-331,0012
1	332,8907	0,7164912	1,219534	1439	0	0,005656854	-0,7164689	-9,828316	0	-332,7456
1	335,4928	0,7312128	1,250377	1471	0	0,005656854	-0,7311909	-9,3603	0	-335,3622
1	339,8654	0,7508201	1,278994	1503	0	0	-0,7508201	-9,828316	0	-339,7232
1	342,0587	0,765563	1,296298	1535	0	0,005656854	-0,7655421	-10,29633	0	-341,9037
1	344,2526	0,780264	1,323416	1567	0	0	-0,780264	-10,76435	0	-344,0842
1	345,5751	0,794986	1,345627	1599	0	0	-0,794986	-11,23236	0	-345,3925
1	349,0621	0,8195422	1,376012	1631	0	-0,00565685	-0,8195226	-11,23236	0	-348,8813
1	350,385	0,8293373	1,418299	1663	0	0	-0,8293373	-11,70037	0	-350,1896
1	350,8368	0,8440782	1,443841	1695	0	0,005656854	-0,8440592	-12,16839	0	-350,6257

R= 15,49 h= 1,054

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	355,2643	0,8784286	1,507751	1759	0	0,005656854	-0,8784105	-14,04045	0	-354,9868
1	355,7582	0,8931504	1,529961	1791	0	0,005656854	-0,8931324	-15,44449	0	-355,4229
1	357,9783	0,9127792	1,562401	1823	0	0,005656854	-0,9127617	-16,38053	0	-357,6034
1	358,94	0,9274837	1,641299	1855	0	0	-0,9274837	-18,25259	0	-358,4756
1	361,1416	0,9422566	1,66915	1887	0,00489898	0,008485281	-0,9422056	-18,7206	0	-360,6561
1	362,5497	0,9618516	1,707563	1919	0,00489898	0,002828427	-0,961835	-20,59266	0	-361,9644
1	362,6041	0,9716496	1,740321	1951	0	0	-0,9716496	-21,52869	0	-361,9644
1	365,3015	0,9913273	1,786028	1983	0,00489898	0,008485281	-0,9912789	-22,93274	0	-364,581
1	365,7967	1,006017	1,816413	2015	0	0,005656854	-1,006001	-23,86877	0	-365,0171
1	366,7611	1,020738	1,851845	2047	0	0,005656854	-1,020723	-25,27281	0	-365,8893
1	367,7304	1,03546	1,880856	2079	0	0,005656854	-1,035445	-26,67686	0	-366,7615
1	369,6101	1,055135	1,906398	2111	0	0,01131371	-1,055074	-28,54892	0	-368,5059
1	370,5906	1,069856	1,934521	2143	0	0,01131371	-1,069796	-29,95296	0	-369,3781
1	371,5758	1,084562	1,969953	2175	0,00489898	0,008485281	-1,084518	-31,35701	0	-370,2503
1	372,6072	1,099298	2,006338	2207	0	0,01131371	-1,09924	-33,22906	0	-371,1225
1	373,213	1,118998	2,045911	2239	0	0,01697056	-1,118869	-35,10113	0	-371,5586
1	373,7362	1,138681	2,075672	2271	-0,00489898	0,01979899	-1,138499	-36,03716	0	-371,9948
1	375,6568	1,148536	2,107936	2303	0	0,02262742	-1,148313	-37,90922	0	-373,7391
1	375,7043	1,163379	2,14483	2335	0	0,02828427	-1,163035	-38,37723	0	-373,7391
1	378,7889	1,182719	2,179498	2367	0	0,01131371	-1,182664	-38,84525	0	-376,7918
1	377,8735	1,1974	2,215934	2399	0	0,005656854	-1,197386	-38,37723	0	-375,9196
1	376,9117	1,212148	2,2384	2431	0,00489898	0,008485281	-1,212108	-37,4412	0	-375,0474
1	377,7335	1,22683	2,270321	2463	0	0	-1,22683	-36,97319	0	-375,9196
1	378,6015	1,246472	2,2907	2495	0	-0,00565685	-1,24646	-36,97319	0	-376,7918
1	379,5154	1,261296	2,318823	2527	0	-0,01697056	-1,261181	-37,4412	0	-377,664

R= 15,49 h= 1,054

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
1	380,2863	1,295545	2,382416	2591	0	-0,00565685	-1,295533	-40,71731	0	-378,1002
1	382,2772	1,310304	2,407957	2623	0	-0,01131371	-1,310255	-43,05738	0	-379,8446
1	382,3837	1,325025	2,436969	2655	0	-0,01131371	-1,324977	-43,99341	0	-379,8446
1	381,6818	1,339746	2,472625	2687	0	-0,01131371	-1,339699	-45,39745	0	-378,9724
1	383,2072	1,354503	2,498167	2719	0,00489898	-0,01414214	-1,354421	-47,26952	0	-380,2807
1	383,8752	1,379247	2,534978	2751	0	-0,02828427	-1,378957	-49,14157	0	-380,7168
1	383,6252	1,389336	2,568184	2783	0	-0,03959798	-1,388772	-50,54562	0	-380,2807
1	385,109	1,399513	2,61146	2815	0	-0,05091169	-1,398587	-51,94967	0	-381,589
1	386,8375	1,429923	2,653751	2847	0	-0,07353911	-1,42803	-51,94967	0	-383,3333
1	385,3544	1,440524	2,677412	2879	0,00489898	-0,08768124	-1,437845	-50,54562	0	-382,0251
1	386,3525	1,457417	2,720754	2911	0	-0,1187939	-1,452567	-48,20554	0	-383,3333
1	383,5249	1,481308	2,769176	2943	0	-0,1640488	-1,472196	-42,58936	0	-381,1529
1	384,2895	1,501577	2,819797	2975	0	-0,2093036	-1,486918	-37,4412	0	-382,4612
1	383,3484	1,520669	2,88703	3007	-0,00489898	-0,2687006	-1,496733	-31,82502	0	-382,0251
1	383,0217	1,54853	2,957616	3033	-0,00489898	-0,3139554	-1,516362	-27,61289	0	-382,0251
2	369,5972	1,543105	2,991534	3065	0,00979796	-0,3337544	-1,506548	-21,9967	0	-368,942
2	363,2275	1,538408	3,025329	3097	0,01959592	-0,3337544	-1,50164	-16,84854	0	-362,8366
2	356,0513	1,527762	3,049039	3129	0,02939388	-0,3280975	-1,491826	-11,70037	0	-355,859
2	348,0708	1,508823	3,079169	3161	0,03919184	-0,3280975	-1,472196	-6,55221	0	-348,0091
2	341,9088	1,499088	3,107769	3193	0,05388878	-0,3252691	-1,462382	-1,87206	0	-341,9037
2	336,6734	1,492662	3,129661	3225	0,05878776	-0,3167838	-1,457474	1,404045	0	-336,6705
2	329,7141	1,478713	3,155203	3257	0,06858572	-0,3167838	-1,442752	3,74412	0	-329,6929
2	311,1259	1,441855	3,207578	3395	0,1028786	-0,3139554	-1,403494	19,65663	0	-310,5044
2	296,7095	1,425362	3,24555	3445	0,1273735	-0,3167838	-1,383865	29,48494	0	-295,2408
2	295,5625	1,414403	3,289833	3477	0,1420704	-0,3252691	-1,369143	38,37723	0	-293,0603

R= 15,49 h= 1,054

гз бБ®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	290,5136	1,401383	3,375848	3541	0,1714643	-0,3365828	-1,349513	50,54562	0	-286,0827
2	285,3719	1,389839	3,404448	3573	0,1812622	-0,3422397	-1,334791	55,22577	0	-279,9773
2	281,8542	1,386477	3,431248	3605	0,1861612	-0,3450681	-1,329884	58,96989	0	-275,6162
2	276,0901	1,369052	3,459371	3637	0,2057571	-0,3394113	-1,310255	65,5221	0	-268,2025
2	275,1292	1,359709	3,48871	3669	0,2106561	-0,3365828	-1,30044	70,20226	0	-266,022
2	271,4562	1,351995	3,521167	3701	0,2253531	-0,3337544	-1,290625	75,35042	0	-260,7888
2	267,3859	1,347304	3,544127	3733	0,24005	-0,3422397	-1,280811	81,43462	0	-254,6834
2	264,9814	1,333676	3,577867	3765	0,2498479	-0,3365828	-1,266089	85,64675	0	-250,7585
2	263,5739	1,329476	3,612456	3797	0,2596459	-0,330926	-1,261181	91,26293	0	-247,2697
2	259,0865	1,320727	3,644048	3829	0,2694439	-0,3252691	-1,251367	96,8791	0	-240,292
2	256,4608	1,309196	3,67795	3861	0,2841408	-0,3224407	-1,236645	101,5593	0	-235,4949
2	253,3896	1,300717	3,714386	3893	0,2939388	-0,3167838	-1,22683	106,7074	0	-229,8256
2	250,7558	1,295583	3,729363	3925	0,3086357	-0,3196123	-1,217016	113,2596	0	-223,7202
2	245,9874	1,278164	3,757662	3957	0,3184336	-0,3139554	-1,197386	117,9398	0	-215,8703
2	243,9644	1,270083	3,796184	3989	0,3282316	-0,3082986	-1,187572	123,0879	0	-210,6371
2	241,8997	1,268703	3,824801	4021	0,3429286	-0,3054701	-1,182664	127,7681	0	-205,4039
2	238,9907	1,256341	3,851587	4053	0,3527265	-0,2998133	-1,167942	133,8523	0	-197,9902
2	237,1013	1,254577	3,881347	4085	0,3625245	-0,2998133	-1,163035	138,0644	0	-192,7569
2	234,2861	1,242487	3,907639	4117	0,3723224	-0,2941564	-1,148313	142,7446	0	-185,7793
2	231,6675	1,23143	3,93318	4149	0,3870194	-0,2856711	-1,133591	148,3607	0	-177,9295
2	230,7348	1,225539	3,970351	4181	0,3968174	-0,2856711	-1,123776	153,5089	0	-172,2602
2	230,6858	1,213979	4,007163	4213	0,4066153	-0,2800143	-1,109055	158,6571	0	-167,463
2	230,2376	1,209407	4,034537	4245	0,4213122	-0,2771859	-1,09924	163,8053	0	-161,7937
2	229,7002	1,201412	4,064236	4277	0,4311102	-0,2658722	-1,089425	168,4854	0	-156,1244
2	230,3227	1,196097	4,107478	4309	0,4409081	-0,2658722	-1,079611	173,6336	0	-151,3273

R= 15,49 h= 1,054

гз бв®€	G MPa	ќ%	S %	Time	ќ1 %	ќ2 %	ќ3 %	S1 MPa	S2 MPa	S3 MPa
2	231,101	1,181537	4,171704	4373	0,4654031	-0,2573869	-1,055074	184,8659	0	-138,6803
2	232,326	1,17251	4,209726	4405	0,4801	-0,2489016	-1,040352	190,4821	0	-133,011
2	233,6629	1,170785	4,237849	4437	0,484999	-0,25173	-1,035445	195,6303	0	-127,7778
2	234,8962	1,162213	4,254834	4469	0,4996959	-0,2432447	-1,020723	201,7145	0	-120,3641
2	234,8622	1,157881	4,283845	4501	0,5094939	-0,2432447	-1,010908	206,3946	0	-112,0781
2	237,8299	1,149443	4,313226	4533	0,5192918	-0,2432447	-0,9961861	212,4788	0	-106,8449
2	240,18	1,145943	4,353704	4565	0,5339888	-0,2347594	-0,9863715	217,627	0	-101,6117