

М237899
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

МУРСА Кондря Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРТОТРОПНЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

(01.02.06 — Динамика, прочность и надежность машин,
приборов и аппаратуры)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор Н. Н. Малинин.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор В. Д. Головлев,
кандидат технических наук, доцент А. Г. Овчинников.

Ведущее предприятие — ЦНИИТМАШ.

Автореферат разослан « 6 » сентября 1974 г.

Защита диссертации состоится « 10 » октября 1974 г.
на заседании специализированного комитета по защите диссертаций на соискание ученого
прочности машин Механика и прочность машин Механика и прочность машин
Трудового Красного Знамени им. Н. Э. Баумана
скакая ул., д. 5.

Ваши отзывы и предложения по диссертации просим направлять по адресу: Москва, ул. Бауманская, д. 5.
можно ознакомить с диссертацией по адресу: Москва, ул. Бауманская, д. 5.

Ученый секретарь
к. т. н., доцент

М/237899

За время полувекового существования Советского государства КПСС и Советское правительство сделали и делают все, чтобы наша наука крепла и развивалась. XIX съезд КПСС призвал советских ученых всемерно развивать фундаментальные и прикладные исследования, быстрее внедрять их результаты в народное хозяйство. "Прогресс науки и техники - отмечал на съезде Л.И.Брежнев - это главный рычаг создания материально-технической базы коммунизма". Сейчас решается много проблем в различных отраслях науки. В частности, перед учеными и конструкторами стоят новые задачи в области теории пластичности, обработки металлов давлением и резанием и т.д.

Одним из важнейших направлений технического прогресса является широкое применение передовых методов обработки металлов давлением, обеспечивающее изготовление деталей машин высокой прочности наиболее экономичными способами с минимальной последующей обработкой резанием.

Решение многих задач обработки металлов давлением основывается на действительных характеристиках материалов при больших пластических деформациях - на действительных диаграммах деформирования (под диаграммами деформирования понимаются графики зависимости эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$ от интеграла эквивалентного приращения деформаций $(\int d\epsilon_{экв})$). Эти диаграммы дают представление о пластических свойствах металлов, о способностях их к деформированию, позволяют подсчитать несущую способность конструкций, экономично использовать мощности заводского оборудования.

В зависимости от типа заготовки материала определение действительных механических свойств металла или построение действительных диаграмм деформирования может быть произведено:

1) путем испытания образцов из пруткового или толстолистового материала;

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1237899

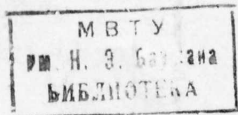
Мурса К.С. Исследование М

6687624

2) в результате деформирования образцов тонколистового материала.

В первом случае возможны следующие типы испытаний: испытание на растяжение, сжатие, кручение, испытание тонкостенных трубок, нагруженных внутренним давлением, в результате чего в них возникает двухосное напряженное состояние, и т.п. Во втором случае могут быть испытаны образцы на одноосное растяжение, мембраны различных конфигураций, нагруженные давлением, а также проведены испытания на сжатие в условиях плоской деформации. В результате такого испытания получают условные диаграммы деформирования. Эти кривые корректируют, учитывая при этом факторы, искажающие действительные свойства металлов.

Следует отметить, что имеющиеся в настоящее время обширные сведения по теоретическим и экспериментальным исследованиям по построению диаграмм деформирования как советских, так и зарубежных авторов, в подавляющем большинстве случаев относятся к изотропным материалам. Между тем в современном производстве при формообразовании листового материала в процессе изготовления деталей сложной конфигурации в таких операциях, как вытяжка, штамповка и др., неучет анизотропии листа приводит к нежелательным явлениям, выходящим, например, в ушкообразовании и разнотолщинности. Учет же анизотропии листа может оказаться благоприятным фактором в этих операциях. Так, при использовании анизотропного листа создается возможность увеличения устойчивости процесса формообразования за счет соответствующего расположения листовой заготовки относительно деформирующего инструмента. Поэтому представляет большой интерес разработка методик исследования механических свойств анизотропных материалов и построения диаграмм деформирования пу-



тем испытания этих материалов различными способами.

В диссертации поставлены следующие задачи:

1. Разработка методики испытания листовых материалов на растяжение для построения действительных диаграмм растяжения.
2. Анализ напряженного и деформированного состояний в точках наименьшего поперечного сечения шейки растянутых плоских образцов.
3. Экспериментальная проверка гипотезы изотропного упрочнения.
4. Экспериментальная проверка и сопоставление теорий энергетического и деформационного упрочнения для ортотропных листовых материалов.
5. Построение диаграмм деформирования в результате испытания листовых материалов на сжатие в условиях плоской деформации.
6. Разработка метода испытания листового материала в условиях нагружения равномерным давлением прямоугольной узкой мембраны, стороны которой параллельны главным направлениям анизотропии. Эта мембрана заделана по длинным сторонам.
7. Установление пределов равномерного деформирования такой мембраны.
8. Приведение рекомендаций относительно изготовления заготовок мембран из прокатного листа с целью получения наибольшей равномерной пластической деформации.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе дан обзор имеющихся теоретических и экспериментальных работ по изучению начальной анизотропии; описывается механизм образования текстур, рассматриваются другие виды анизотропии и способы ее оценки. Приводится анализ существующих в настоящее время теорий пластичности для анизотропных сред с изотропным упрочнением. Рассматриваются имеющиеся методы построения диаграмм деформирования

для анизотропных материалов на основе существующей теории пластичности. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по пластическому равномерному деформированию ортотропных тел.

Из обзора литературы было установлено, что анизотропия, приобретенная материалом, может быть разделена на начальную и деформационную. Начальная анизотропия получается в некоторых металлах с кубической и гексагональной плотной кристаллической решеткой в результате предпочтительной кристаллографической ориентации, называемой текстурой. Текстура сплавов с вышеупомянутой структурой может возникать в результате технологических операций, таких, как прокатка при изготовлении листов. В упругой стадии деформирования листовых материалов обычно анизотропия не проявляется, и материал деформируется изотропно. Он становится анизотропным только при пластических деформациях. Как правило, начальную анизотропию предполагают неизменной в процессе деформирования листового материала. Это предположение справедливо только при несложных путях нагружения.

Деформационная анизотропия возникает в материале в процессе его деформирования.

Листовые материалы находят широкое применение в технике, в частности, в производстве сосудов давления, стенки которых работают в условиях двухосного растяжения. При этом возможна экономия металла за счет правильной ориентации осей анизотропии.

Для использования анизотропии механических свойств в производстве изделий из текстурованных материалов необходимо иметь надежные методы ее оценки. Из обзора литературы следует, что существующие методы оценки анизотропии с точки зрения ее существования делятся на две группы: качественной и количественной. На

практике большинством из существующих методов оценки анизотропии удается обнаружить ее существование, но не установить меру воздействия на механические свойства материала. Начальную анизотропию принято оценивать коэффициентом анизотропии R , который равен отношению логарифмических деформаций по ширине растянутого плоского образца к логарифмическим деформациям по толщине в пределах равномерного деформирования. Различают нормальную анизотропию, когда коэффициент R практически одинаков в различных направлениях по отношению к направлению прокатки листа, но отличен от единицы, и плоскостную анизотропию, когда коэффициент R различен в различных направлениях относительно направления прокатки в плоскости листа. Чем больше R при развитой пластической деформации, тем большие устойчивые деформации допускает металл в плоскости листа, тем меньше утонение и, следовательно, выше способность металла к пластическому деформированию.

Коэффициент анизотропии R в совокупности с величиной равномерного удлинения является важной характеристикой листового материала. Часто для оценки анизотропии механических свойств в плоскости листа, а также при расчетах, связанных с установлением влияния анизотропии на процессы обработки давлением листовых материалов (оценка штампуемости листовых материалов, расчет степени фестонообразования и потери устойчивости заготовки при вытяжке и т.п.), используется средний коэффициент анизотропии R_c . Последний вычисляется различными способами.

Коэффициент анизотропии R позволяет выявить в прокатном листе направление с наибольшим механическим сопротивлением, но для исследования технологических процессов, характеризующихся большими деформациями, эта величина недостаточна. Необходимо располагать диаграммами ~~деформирования~~ ^{растяжения} в различных направлениях лис-

та. Эти диаграммы могут быть построены при различных видах испытаний. Однако, для тонколистовых материалов при этом встречаются большие трудности. Так, при одноосном растяжении процесс деформирования образца не обладает достаточной устойчивостью: появляется шейка и с этого момента напряженное состояние в точках, близких к наименьшему сечению шейки, неоднородно и неоднородно; неоднородно также и деформированное состояние. Поэтому даже для изотропных материалов расчет истинных характеристик имеет приближенный характер, так как основан на ряде допущений.

Для анизотропных материалов не исследованы напряженное и деформированное состояния в точках наименьшего сечения шейки, поэтому построить диаграмму деформирования в процессе одноосного растяжения после образования шейки невозможно из-за отсутствия методики. Построение диаграмм деформирования по результатам испытаний на осевое сжатие нецелесообразно, так как изготовление образцов из тонколистового материала для такого вида испытания затруднительно. Более надежным и простым оказался метод испытания тонколистовых материалов в условиях плоской деформации, предложенный Орованом и проверенный Фордом, а также Ж.Л. Петросяном на изотропных материалах. Эту методику испытания можно распространить и на ортотропные материалы.

Для построения диаграмм деформирования изотропных материалов успешно применяется метод испытания круглой заземленной по контуру мембраны. Такие испытания проводились Ж.Л. Петросяном, и им были получены равномерные пластические деформации до 65%, что является большим преимуществом по сравнению с другими методами испытания.

Дункан и Джонсон разработали метод построения диаграмм деформирования тонколистовых материалов путем выпучивания гидроста-

тическим давлением мембран с различной конфигурацией щелей. Этот метод относился как к изотропным, так и анизотропным материалам. В процессе испытания исследовалась также предельная прочность, которая в свою очередь зависела от вида напряженного состояния в стенке мембраны. Изменение схем напряженного состояния в процессе испытания достигалось изменением отношения главных напряжений благодаря изменению конфигурации щелей камеры давления. Но построение диаграмм деформирования для анизотропных листовых материалов по методике, разработанной Дунканом и Джонсоном, нецелесообразно, так как громоздкие расчеты носят приближенный характер ввиду ряда допущений относительно геометрии деформированных мембран, распределения деформаций и простого нагружения.

Обобщая результаты проведенных исследований по испытанию анизотропных тонколистовых материалов с последующим построением диаграмм деформирования, можно заметить, что отсутствие простой и надежной методики испытания мембран, затруднения при изготовлении образцов и проведении испытаний на осевое сжатие, отсутствие методики по обработке результатов испытаний на осевое растяжение дает основание полагать, что разработка методов построения диаграмм деформирования для вышеуказанных материалов является актуальной. Между тем современные теории пластичности для ортотропных тел позволяют найти корреляции между диаграммами ^{растяже-} деформирования в различных направлениях прокатного листа и таким образом построить эти диаграммы по ограниченному числу испытаний.

Вторая глава посвящена анализу существующих теорий пластичности для анизотропных тел. Показано, что в настоящее время можно заметить тенденцию к развитию двух групп таких теорий. К первой группе относится теория пластического течения несжимаемого идеально-пластического анизотропного материала без учета деформаци-

онной анизотропии. В процессе пластической деформации материал упрочняется изотропно, причем это упрочнение происходит по единой кривой, не зависящей от вида напряженного состояния. Эта теория была предложена в 1928 году Р. Мизесом и далее развивалась Р. Хиллом, В. Диаконицей и Д. Чэкрэбэрти. В последнее время заметна тенденция к развитию другой группы теорий пластичности для анизотропных тел — теорий типа малых упруго-пластических деформаций. Этим теориям посвящены работы И.И. Голденבלата, В.О. Геогджаева, В.А. Ломакина, П.П. Петричева. Здесь делаются попытки построения зависимостей между напряжениями и деформациями для упрочняющихся анизотропных тел. Можно полагать, однако, что эта группа теорий найдет меньшее применение в практике решения задач пластического формоизменения с учетом анизотропии материала, так как такие процессы сопровождаются, как правило, большими пластическими деформациями, а теории справедливы только при небольших пластических деформациях и простом нагружении. Заметим, что во всех теориях, как первой так и второй группы, эффект Баушингера не учитывается.

Развитие теории пластического течения анизотропных материалов с учетом деформационной анизотропии представляет большой практический интерес, поскольку это дает возможность более строго подойти к решению многих задач, в которых среда анизотропна, а ее деформирование происходит при сложных нагружениях. Однако, описание явлений деформационной анизотропии затруднено малой их изученностью и требует значительного теоретического исследования.

Условие пластичности разделяет упругое и пластическое деформирование материала, и для первой группы теорий его можно представить в виде:

$$f(\sigma_{ij}, q) = 0$$

В силу принятого предположения изотропного упрочнения параметр не должен влиять на форму поверхности текучести в процессе пластического деформирования.

Заметим, что в настоящее время существуют две различные гипотезы, позволяющие определить параметр q , устанавливающий меру изотропного упрочнения. На основе первой гипотезы, принятой Р. Хиллом, параметр q определяется как работа пластической деформации A^p . Этот вариант теории называется теорией энергетического упрочнения. Согласно второй гипотезе, введенной Дяконицей-Чэкрэбартти, принято, что величина q является функцией параметра Уд-квиста. Этот вариант называется теорией деформационного упрочнения.

В отличие от изотропного тела в рассматриваемом случае, в зависимости от принятой гипотезы, получаются различные варианты теорий пластичности. Следует отметить, что в обоих вариантах используется одна и та же форма для пластического потенциала и ассоциированный закон течения.

В разработанном Р. Хиллом варианте теории энергетического упрочнения установлено, что эквивалентное напряжение $\bar{\sigma}_{экв}$ является функцией пластической работы. Из этого следует, что эквивалентное напряжение $\bar{\sigma}_{экв}$ является функцией интеграла от эквивалентного приращения пластических деформаций:

$$\bar{\sigma}_{экв} = \Phi \left(\int d \bar{\epsilon}_{экв} \right)$$

В теории деформационного упрочнения принимается, что эквивалентное напряжение $\bar{\sigma}_{\text{экв}}$ является функцией параметра Удквиста.

Вариант теории энергетического упрочнения обладает некоторыми преимуществами, так как приводит к более простым соотношениям теории пластического течения ортотропных тел.

На основе двух вариантов теорий пластического течения ортотропных тел установлены корреляции между диаграммами ^{растяжения} деформирования материала в различных направлениях прокатного листа. Установлено, что для построения диаграмм растяжения в направлении главных осей анизотропии X , Y , Z необходимо располагать диаграммой растяжения в одном из этих направлений и тремя начальными пределами текучести $\bar{\sigma}_{\text{хт}}$, $\bar{\sigma}_{\text{yt}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{zt}}$ в тех же направлениях. Для построения же диаграммы растяжения в произвольном направлении, наклонном к главному, нужно знать еще начальный предел текучести $\bar{\sigma}_{\text{н}}$ в одном из произвольных наклонных направлений.

Допущения, принятые в двух вариантах теории пластичности для ортотропных тел, в частности, гипотеза об изотропном упрочнении, в значительной степени упрощают решение практических задач обработки металлов давлением. Однако, как следует из обзора литературы, имеется мало сведений о справедливости этой гипотезы.

В третьей главе описано экспериментальное исследование ортотропных листовых материалов. Для проведения экспериментальных исследований были выбраны четыре наименования листовых материалов из титановых сплавов ОТ4 $h_0 = 0,6$ мм, ОТ4 $h_0 = 1,05$ мм, ТС5 $h_0 = 0,7$ мм, дюрала Д16АТ $h_0 = 0,72$ мм и латуни Л62 $h_0 = 0,8$ мм. Все листовые материалы были в состоянии поставки. Экспериментальная проверка гипотезы изотропного упрочнения на указанных материалах показала удовлетворительные результаты. В этой же главе изложена методика обработки результатов испытаний на осевое растя-

жение плоских образцов. В частности, приведено исследование напряженного и деформированного состояний в точках наименьшего сечения шейки плоских ортотропных образцов и разработана методика построения диаграммы деформирования после образования шейки. При решении этой задачи приняты обычные гипотезы, используемые для исследования напряженного состояния в наименьшем сечении шейки образцов из изотропных материалов. Здесь пренебрегалось неравномерным утонением по толщине листа в окрестности шейки. В силу малой толщины листа принято, что $\sigma_y = 0$. Таким образом, напряженное состояние в точках наименьшего сечения шейки двухосное. Кроме того, принята гипотеза о постоянстве эквивалентного напряжения в точках этого сечения.

Решение указанной задачи для исследуемых материалов показало, что действительное напряжение в точках наименьшего сечения шейки отличается от среднего, определяемого как отношение растягивающей силы к площади наименьшего сечения шейки, не более, чем на 4%. Для более пластичных материалов эта разница может быть более существенной.

По результатам испытания на растяжение плоских образцов были построены действительные диаграммы растяжения в четырех направлениях листа: вдоль X , поперек Y , а также под углами $\psi = 45^\circ$ и $\psi = 60^\circ$ по отношению к направлению прокатки. Затем на основе двух вариантов теорий пластичности для ортотропных тел производилась перестройка диаграмм с целью выяснения справедливости корреляционных соотношений, вытекающих из теории энергетического и деформационного упрочнения. Перестройка диаграмм для всех испытуемых материалов показала хорошее согласование с опытом, но оно несколько лучше при использовании ва -

рианта теории энергетического упрочнения. Кроме того, были построены диаграммы деформирования по двум вариантам теорий пластичности, затем эти диаграммы аппроксимировались эмпирической формулой

$$\sigma_{\kappa\psi} = A \left(B + \bar{\epsilon}_{\kappa\psi} \right)^m$$

по методу наименьших квадратов.

Испытание всех образцов проводилось на прессе системы проф. Фессора А.Г. Гагарина с одновременной записью диаграммы растяжения. В процессе испытания измерялись также поперечные перемещения при помощи индикатора перемещений с часовым механизмом, имеющим цену деления 0,001 мм, который закреплялся на образце посредством специального приспособления.

В третьей главе приведено также описание методики обработки результатов испытания полос-лент из ортотропных листовых материалов на сжатие в условиях плоской деформации. Задача определения эквивалентного напряжения и эквивалентной логарифмической деформации в процессе этого вида испытания решена на основе двух существующих вариантов теории пластичности для ортотропных листовых материалов в предположении, что напряженное и деформированное состояния в образце под плитами двухосные и однородные. Диаграммы деформирования, построенные по результатам этого вида испытания, лежат немного выше диаграмм деформирования, построенных по результатам испытания на растяжение.

В четвертой главе приведена методика решения задачи деформирования узкой прямоугольной мембраны, стороны которой параллельны осям X и Y , являющимся осями симметрии механических свойств материала. Мембрана заделана по двум длинным сторонам и нагружена равномерным давлением. Короткие стороны могут быть либо свободны, либо заделаны. Деформирование мембраны в процессе

ее нагружения рассматривается при больших пластических деформациях на основе использования диаграммы растяжения в каком-нибудь из главных направлений материала листа без аппроксимации, что в дальнейшем позволит разработать методику построения этой диаграммы на основе результатов испытания мембран.

При испытании узкой прямоугольной мембраны, длинные стороны которой заделаны, в отличие от испытания круглой мембраны, напряженное состояние однородно, что является известным преимуществом испытания такой мембраны. Определение напряжений в мембране осуществлено в предположении, что меридиональная деформация ее равна нулю, $\bar{\epsilon}_m = 0$, и что напряженное состояние во всех точках мембраны является плоским ($\sigma_y = 0$).

Как показал опыт, оба варианта теорий хорошо согласуются с экспериментом до разрушения мембран, но кривые $p-w$, построенные по теории деформационного упрочнения, располагаются ближе к экспериментальной кривой. В процессе эксперимента все без исключения мембраны разрушались без образования шейки при возрастающем давлении, что нежелательно. Это происходило, по-видимому, в результате краевого эффекта, так как разрушение имело место около продольных зажатых сторон. Для оценки пределов равномерного деформирования мембран возникла необходимость решения задачи устойчивости пластического равномерного деформирования и определения критических деформаций для двухосного растяжения мембран и одноосного растяжения образцов. Решение этой задачи позволило обосновать целесообразность методики испытания таких мембран. С целью обработки результатов испытания и выявления характера кривой $p-w$ в начале деформирования мембран решена упругая задача.

Кроме перечисленных, решена задача устойчивости равномерно-го деформирования мембран, у которых длинные стороны по-разному

ориентированы относительно главных направлений (вдоль и поперек) прокатки. Даны рекомендации относительно оформления заготовок мембран из листового материала с целью получения наибольшей равномерной пластической деформации.

Анализ теоретических решений и экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Экспериментально проверена гипотеза изотропного упрочнения для листовых материалов четырех наименований и обнаружено хорошее согласование ее с опытом.

2. Наложена методика построения действительных диаграмм ~~деформирования~~ ^{растяжения} плоских образцов из ортотропного листового материала, оси которых лежат в срединной плоскости листа и либо совпадают с одним из главных направлений анизотропии, либо наклонены к нему. Показана возможность перестройки действительных диаграмм деформирования на основе двух существующих в настоящее время вариантов теории пластического течения для ортотропных материалов. Приведены результаты экспериментальной проверки теорий, которая показала, что практически эти варианты равноценны, но все же в некоторых случаях теория энергетического упрочнения несколько лучше согласуется с опытом.

3. Показано, что для построения действительных диаграмм растяжения в главных направлениях анизотропии необходимо располагать диаграммой в одном из главных направлений и тремя пределами текучести в главных направлениях - σ_{1T} , σ_{2T} и σ_{3T} . Для построения действительной диаграммы ~~деформирования~~ ^{растяжения} в направлении, наклонном к главному, необходимо знать еще предел текучести в каком-нибудь направлении, наклонном к главному, - $\sigma_{\alpha T}$. Перестройка таких диаграмм на основе двух теорий согласуется достаточно хорошо с опытом.

4. Исследованы напряженное и деформированное состояния в наименьшем сечении шейки плоских образцов из ортотропных материалов. Описана методика построения диаграммы деформирования листовых ортотропных материалов на основе двух вариантов теорий пластичности.

5. Показана возможность испытания ортотропных листовых материалов на сжатие в условиях плоской деформации. Построенные для этого вида испытания диаграммы деформирования листового материала располагаются выше диаграмм деформирования, построенных по результатам одноосного растяжения плоских образцов, причем, теория деформационного упрочнения приводит к лучшему согласованию кривых.

6. Предложен метод определения механических свойств ортотропных листовых материалов путем испытания узкой прямоугольной мембраны, заделанной по длинным сторонам и нагруженной равномерным давлением. Выведены формулы, позволяющие по графику зависимости давления от прогиба получить диаграммы растяжения материалов в направлениях главных осей анизотропии.

7. Для листовых материалов четырех наименований установлены пределы равномерного деформирования узкой прямоугольной мембраны, заделанной по двум длинным сторонам и нагруженной равномерным давлением, у которой длинные стороны параллельны поперечному направлению прокатки (ось y).

8. Установлены пределы равномерного деформирования мембран. Результаты показывают, что для получения наибольших равномерных пластических деформаций в процессе испытания мембран по изложенной методике необходимо их вырезать из листа определенным образом. Так, если предел текучести в направлении прокатки σ_{yt} больше предела текучести в поперечном направлении $\sigma_{y\perp}$, то длинные

стороны должны быть параллельны поперечному направлению; если же $b_{хг} < b_{уг}$, то длинные стороны мембран должны быть параллельны направлению прокатки.

9. При анализе результатов обработки экспериментальных данных по построению действительных диаграмм деформирования замечено, что диаграммы деформирования, полученные при испытании на сжатие в условиях плоской деформации, лежат выше, чем диаграммы деформирования, построенные по результатам испытания на растяжение плоских образцов. Выбор метода испытания листового материала для построения диаграмм деформирования должен быть согласован с типом решаемой задачи. При этом напряженное и деформированное состояния в испытываемом образце должны быть по возможности близки к расчётному элементу. Так, если решается задача штамповки, прокатки и т.д., то необходимо построить диаграмму деформирования путём обработки результатов на одноосное сжатие, если это испытание можно провести, или на сжатие в условиях плоской деформации. Если же решается задача растяжения (формоизменение оболочек), то разумнее будет строить диаграмму деформирования листового материала по обработке результатов испытаний на растяжение плоских образцов или же испытаний мембран, нагруженных гидростатическим давлением.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Н.Н.МАЛИНИН, К.С.МУРСА. Испытание ортотропных листовых материалов. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1972, №4.
2. Н.Н.МАЛИНИН, К.С.МУРСА. Устойчивость пластического растяжения ортотропной узкой прямоугольной мембраны. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1972, №5.
3. К.С.МУРСА. Исследование механических свойств ортотропных листовых материалов. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1972, №6.