

Л. А. МАНКЕВИЧ

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ГНУТЬЕ ДРЕВЕСИНЫ НА СТАНКАХ

Без исследования местных пластических и упругих деформаций нельзя всесторонне решить целый ряд вопросов, связанных с пластичностью и прочностью древесины. На основе экспериментальных данных измерения истинных деформаций возможно проанализировать напряженное состояние древесины при гнутье.

Как известно, процесс деформации древесины характеризуется значительной неоднородностью. При сжатии деревянного бруска нормальные напряжения распределяются по площади поперечного сечения по весьма сложному периодическому закону, резко меняясь по своей величине в разных местах поперечного сечения, вследствие структурной неоднородности древесины. В этом случае за предел прочности принимают усредненное по линейному закону нормальное напряжение.

Для исследования законов деформации необходимо, кроме изучения средней деформации образца в целом, изучить местные деформации. Обычно средняя деформация образца бывает в несколько раз меньше истинной местной деформации. В ряде мест образца напряжения бывают значительно ниже максимальных, а в соседних зонах материал оказывается сильно перегруженным. Основные закономерности деформации пропаренной древесины в нагретом состоянии целесообразно изучать на малых линейных размерах, в пределах которых с известной точностью возможно считать деформированное состояние однородным в данном направлении. Зная характер распределения и величину деформации от точки к точке, можно понять средние свойства образца или детали. Необходимо четко различать максимальные и средние деформации.

Чтобы решить вопрос об отношении  $\frac{h}{R}$  при гнутье древесины, нужно принять за основу величину максимальных мест-

ных деформаций, возникающих в поверхностном слое изогнутых заготовок или чистовых деталей. Величина максимальной деформации при изгибе, которая может быть получена в наружном слое без разрушения материала, определяется деформационной способностью материала при плоском напряженном состоянии.

Деформации нагретой (пропаренной) древесины при гнутье ее на станке определяются некоторыми исследователями, исходя из предположения только упругой работы ее [1]. В действительности же даже в ненагретой древесине при изгибе ее происходит процесс образования и развития как упругих, так и пластических деформаций. Последние возникают в сжатой зоне в виде необратимых складок. В древесине же, подвергнутой гнутью, непосредственно вслед за гидротермической обработкой, возникают уже более значительные пластические зоны (более глубокие) не только от механических усилий сжатия, а вследствие нагревания древесины. Они особенно опасны в сжатых местах.

Исходные нормативные характеристики предела прочности древесины основаны на испытании чистой древесины, без пороков. Следует уточнить значения дифференциальных коэффициентов, определяющих реальные условия работы древесины (коэффициенты, учитывающие форму поперечного сечения, гидротермического состояния, влияния пороков, влияния неоднородности).

Расчет предела прочности при изгибе по деформации требует не только экспериментального, но и теоретического определения ее. Расчет предела прочности при изгибе по образованию или раскрытию трещин весьма сложен. Во-первых, процесс постепенного образования и развития трещин в древесине происходит в процессе сушки (температурных напряжений), внутренних, естественных напряжений, до напряжений, вызванных внешними механическими усилиями. Во-вторых, величина деформации, отвечающая появлению первых трещин, часто не зависит от предела прочности.

Пластическая деформация после окончательного разрушения образца или детали является суммой деформации до образования первой трещины и дополнительной местной деформации, происшедшей в процессе развития трещины. Первые видимые трещины часто не совпадают с действительным началом разрушения. Последнее, несомненно, начинается раньше, но пока не может быть обнаружено ввиду недостаточной разрешающей способности даже таких чувствительных методов наблюдения первых трещин, как металлографический и рентгеновский. Трещины размерами порядка  $2500\text{Å}$  могут быть видны, если принять разрешающую способность человеческого глаза  $0,25\text{ мм}$  и полезное увеличение оптического микроскопа 1000 раз. Электронная микроскопия в слу-

чае применения метода слепков позволит достичь большего полезного увеличения и видеть трещины порядка  $50\text{--}100\text{\AA}$ , т. е. еще в  $10\text{--}20$  раз большие, чем параметр кристаллической решетки. Немецкие ученые [2] исследовали структуру древесины с помощью электронного микроскопа с полезным увеличением от 1000 до 5200 раз.

Если в упругой области для определения неоднородности деформированного состояния имеются проверенные опытным путем аналитические решения для большинства практически важных случаев, то в пластической области неоднородность деформированного состояния еще мало изучена. Как правило, отсутствуют количественные данные об уменьшении неоднородности деформированного состояния при переходе из упругой в пластическую область. Для многих сложных случаев деформированных состояний в пластической области отсутствуют аналитические способы определения напряженного состояния.

Методом лаков в его современном виде можно выявлять только распределение нормальных деформаций (удлинений, а не сдвигов).

Метод делительных сеток для экспериментального анализа распределения и величины как пластических, так и упругих деформаций применяется очень давно. Например, в прошлом веке с помощью делительной сетки изучена упругая деформация резиновых брусков. При обработке металлов давлением для исследования пластических деформаций применяется метод делительных сеток.

Для таких высокопрочных материалов, как сталь, Т. И. Гудковой, Н. Е. Карским и Г. И. Соболевым [3] разработан метод нанесения микросетки с базой в несколько сотых долей миллиметра путем нацарапывания на шлифе (поверхность образцов предварительно протрагивалась и шлифовалась) алмазной призмой. Подобное нанесение рисок приводит к разрушению изучаемой поверхности образца или детали, к искаженной картине распределения и к погрешности по величине изучаемых местных деформаций.

Я. Б. Фридман и Т. К. Зилова [4] предложили простой и удобный для практического применения метод нанесения делительной сетки на алюминий (отожженный) и на образцы из стали, названный «методом накатанной сетки».

Метод накатанной сетки основан на использовании применявшихся ранее в полиграфической промышленности тангирных сеток.

Метод накатанной тангирной сетки применялся [4] для ненагретого металла. В этом методе используется для воспроизведения сетки желатиновая пленка, весьма чувствительная в смысле плавления, к повышенным температурам. Для нанесения сетки на нагретый (до  $100\text{--}110^\circ\text{C}$ ) пропариванием



брусочек из древесины немедленно после его извлечения из камеры желатиновый тангир непригоден.

При исследовании местных деформаций металла в последнее время разработан *метод фотосетки*, позволяющий изучать все поле деформации в двух направлениях (вдоль осей  $x$  и  $y$ ).

Фотосетку получают, нанося на полированную поверхность металлического образца жидкий светочувствительный раствор. Этот метод очень сложен и мало применим для определения деформаций, возникающих при гнутье пропаренной древесины.

Недостатком *фотограмметрического метода* [5] при исследовании деформаций является то, что при фотографировании вначале неискаженных, а затем искаженных в эллипсы кружков возможна погрешность измерений вследствие деформации изображений из-за коробления пленки и неравномерной усадки фотослоя в различных направлениях изображения контура образца при сушке фотоснимков. Кроме того, возможна погрешность в размерах, связанная с неточностью установки камеры при фотографировании. Погрешность, связанную с неточностью установки фотокамеры, можно снизить до минимума путем применения в фотограмметрическом методе измерения деформаций деталей точной фотографической камеры Ф. Л. Бурмистрова [6]. Однако это связано с усложнением эксперимента.

Обработка (измерение) искаженных кружков обычно производится с помощью измерительного микроскопа-координатометра с точностью от 0,1 до 0,01 мм. При измерении принимается условное постоянство кружков по высоте, что до некоторой степени отвечает действительности при гнутье заготовок без поперечного прессования.

База сеток, применяемых для изучения местных деформаций металлов при некоторых напряженных состояниях образцов (гибка), составляла 0,01—1,0 мм. Я. Б. Фридман и Т. К. Зилова [4] применяли сетки с базой 0,4 мм. Е. М. Шевандин [7] и другие исследователи, работавшие с ним (И. А. Разов, В. П. Матвеев и Г. Н. Константинова) использовали сетки с базой 0,5 или 1,00 мм. Г. А. Смирнов-Аляев [8 и 9] применял круговые риски с базой 0,6 и 0,61 мм.

Для нагретой древесины вопрос о желательной базе делительной сетки не изучен.

После соответствующих экспериментов в данной работе приняты для исследования распределения и величины местных деформаций пропаренной древесины кавказского бука первоначальные круговые риски с базой 8,5 мм.

Точность графоаналитического метода делительной сетки для исследования распределения и величины деформаций при изгибе зависит, кроме прочих факторов, от базы сетки. Базу

сетки необходимо выбирать после проведения предварительных экспериментов с учетом структурных особенностей подопытного древесного материала (твердая, мягкая древесина). Метод делительных сеток дает возможность произвести оценку местных деформаций, измеряя их в различных точках деформированной поверхности с достаточной точностью при условии предварительного измерения элементов делительной сетки. При этом сохраняется целостность исследуемой поверхности.

В настоящей работе были произведены предварительные измерения основной части элементов сетки, наносимой на простроганную поверхность древесины после пропаривания. Изучалась зависимость местных деформаций от угла изгиба.

Деформации пропаренной древесины при гнутье ее на станках распределяются по длине и поперечному сечению бруска неравномерно. При расчете детали могут быть выявлены только усредненные деформации, величина которых является промежуточной, но не средней арифметической между максимальной и минимальной деформацией. Поэтому в ряде случаев, кроме определения общей (средней) деформации детали, нужно измерять местные пластические деформации. При изучении неоднородных деформированных состояний, кроме максимальной величины деформации, важно знать интенсивность уменьшения ее по мере удаления от наиболее деформированного места.

Разрушение при гнутье начинается всегда в зоне максимальной местной деформации и обуславливается в ряде случаев концентраторами напряжений (острыми надрезами, трещинами, рисками и т. п.).

Исследование максимальной пластичности пропаренной древесины при гнутье и интенсивности изменения пластической деформации помогает установить закономерности в распределении и величине пластических деформаций и приводит к лучшему, правильному управлению процессами деформирования при различных напряженных состояниях древесины в мебельной промышленности, выпускающей гнутую мебель.

Методом делительной сетки можно изучать все поле деформации в пластической области у деталей или образцов при различных напряженных состояниях (сжатие, растяжение, изгиб).

Измерение и сравнение максимальной пластичности пропаренной древесины при гнутье (неоднородного напряженного состояния), выраженной не только в удлинениях, но и в сдвигах, в зависимости от скорости деформирования, отношения  $\frac{h}{R}$ , интенсивности гидротермической обработки и других факторов является важной исследовательской задачей.

Деформации, возникающие в древесине в процессе гнутья, определяли путем постановки опытов Ю. С. Быченко [11] в Украинском филиале ЦНИИМОД и В. К. Стивенс [10] в английской научно-исследовательской лаборатории лесных продуктов.

Для изучения распределения деформаций по сечению и по длине заготовки, предназначенной для гнутья косяжков колес размером  $30 \times 140 \times 750$  мм, Ю. С. Быченко вычерчивалась прямоугольная сетка с расстоянием между элементами сетки 40 мм.

В. К. Стивенс наносил на брусок ясеня перед пропариванием его поперечные линии, параллельные друг другу при расстоянии между ними 2 дюйма. При нанесении ряда линий на пропаренную древесину для получения сетки заготовка подвергается быстрому остыванию, при этом следует учитывать необходимость для указанных способов воспроизведения сетки измерения элементов ее до гнутья. Интенсивное остывание древесины сопровождается невозможностью ее дальнейшего гнутья.

Нанесение и измерение сетки до пропаривания заготовки вызывает неточности при измерениях, так как при этом не учитывается разбухание и изменение линейных размеров по сечению древесины в процессе гидротермической обработки ее.

Сетка, нанесенная копировальным карандашом, расплывается в процессе пропаривания бруска. Сетка, нанесенная до гидротермической обработки различными графитными карандашами, после пропаривания смывается. Определить деформации в древесине при этом не представляется возможным.

При экспериментальном исследовании Ю. С. Быченко и В. К. Стивенсом не указывается способ измерения элементов сетки при определении деформаций.

Для изучения деформаций, возникающих в процессе гнутья древесины, нами в 1956 г. были поставлены в гнутарном цехе Парголовской промысловой артели «Красный металлист» (Ленинградская область) рекогносцировочные опыты. Для этого на пропаренный брусок, строганный с четырех сторон с длиной волны 7 мм, из свежесрубленной древесины кавказского бука для полуобода колеса размерами  $1500 \times 53 \times 52$  мм наносились при помощи циркуля карандашом конструктор 2М посередине заготовки (в опасном сечении) по высоте 3—4 кружка диаметром 5 и 8 мм.

Пропаривание производилось насыщенным паром давлением  $P=0,5$  ати, продолжительность пропаривания колебалась от  $\tau=2$  ч. 10 мин.—2 ч. 20 мин., до  $\tau=2$  ч. 40 мин.—2 ч. 55 мин. Кружки наносились также посередине брусков размером  $1240 \times 52 \times 52$  мм и на различных длинах от концов: 70 мм, 310 мм, 620 мм, 720 мм, 750 мм.



Радиусы полуободов после гнутья равнялись 600 и 385 мм. Были измерены при помощи мерительной линейки деформации растяжения и сжатия на 15 брусках.

Проведенные опыты показали возможность нанесения круговых рисок на пропаренный брусок немедленно после его извлечения из пропарочной камеры и измерения изменений диаметров кружков после гнутья для определения деформаций древесины в процессе изгибания ее. Более удобным в отношении измерений оказался диаметр кружка  $d=8$  мм по сравнению с диаметром 5 мм.

При проведении опытов оказалось невозможным наносить более 3—4 кружков ввиду быстрого остывания поверхности бруска, извлеченного из пропарочной камеры. Кружки наносились на разных брусках не на одинаково точной высоте. Способ измерения изменения размеров диаметров кружков при помощи мерительной линейки оказался недостаточно точным (не обеспечивал требуемой точности измерений деформаций древесины).

На основе проведенных рекогносцировочных опытов был разработан следующий способ нанесения и измерения круговых рисок на свободную поверхность бруска.

1. Круговые риски наносились специально сконструированным штампом (рис. 1 и 2) при помощи типографской краски. Штамп, состоящий из жесткого углообразного корпуса, в котором крепятся гильзы с наружным диаметром (базой)  $d_n=8,5$  мм обеспечивает одновременное воспроизведение 2—3 оттисков на пропаренной древесине с нанесением восьми круговых и двух полукруговых рисок в каждом отпечатке в течение двух секунд. При этом пропаренный брусок не остывает и может быть успешно согнут.

Корпус штампа имеет жесткую направляющую, обеспечивающую определенное расположение круговых рисок от растянутой стороны бруска по его высоте до сжатой стороны. Гильзы при необходимости могут быть сняты и замечены.

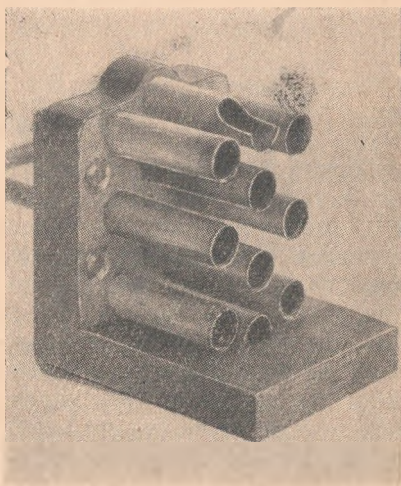


Рис. 1  
Металлический штамп для нанесения круговых рисок на пропаренную заготовку царги.

Спереди видны пустотелые стержни (гильзы), внизу—направляющая плоскость корпуса, сзади—рукоятка.

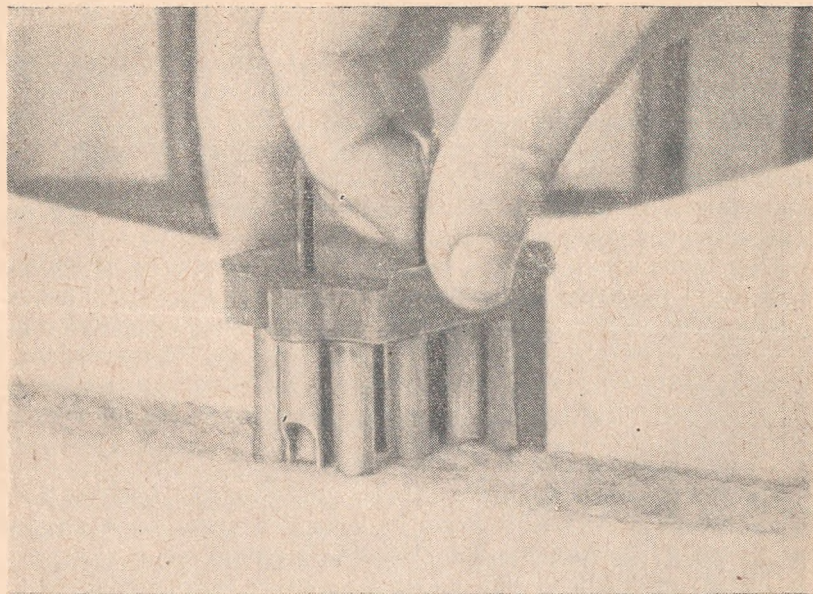


Рис. 2  
Воспроизведение круговых рисок на пропаренном бруске  
способом печатания.

Рабочая торцовая поверхность гильз была доведена (заточена) так, что обеспечивала воспроизведение линии толщиной 0,1 мм. Типографская краска снималась со штемпельной подушечки. Оттиск воспроизводился на простроганной поверхности бруска на расстоянии по длине его 0,25/ и 0,50/ от конца со скосом. Поверхность в местах постановки оттиска предварительно стругалась ручным двойным рубанком с выверкой плоскости в двух взаимноперпендикулярных направлениях и с выверкой бруска «в угол». Выверка плоскости и «в угол» может производиться также на фуговальном станке с ручной подачей.

2. Основным условием нанесения круговых рисок является недопущение перерезания (разделения) или смятия волокон на свободной поверхности бруска из пропаренной древесины кавказского бука. Учитывая, что собственный вес штампа равен  $G = 409$  г, опорная рабочая поверхность штампа  $S = 12$  мм<sup>2</sup>, удельное давление штампа на поверхность пропаренной древесины  $P_{уд} = 34,1$  г/мм<sup>2</sup>, оттиск воспроизводился легким нажатием без деформации древесины.

Ю. С. Быченко параллельные высоте бруска элементы сетки наносились только на боковой стороне на следующих от-



метках от выпуклой зоны:  $0—0,07h—0,25h—0,50h—0,75h—h$  и по длине бруска— $0,48l$  (опасное сечение),  $0,1l$  (у стыка) и сечение у башмака ленты.

Нами наносились круговые риски на боковой и внутренней сторонах бруска на двух расстояниях от конца со скосом  $0,25l$  и  $0,50l$ . Производилось своеобразное «кольцевание» бруска штампом с двух, трех (боковой, внутренней и наружной сторон) и четырех сторон (проверочное). Опоясывание бруска штампом на определенной длине от конца со скосом со всех четырех сторон сечения позволило по искажению круговых рисок в эллипс после гнутья заготовки или по отсутствию изменения размеров диаметров кружков, расположенных на определенной высоте бруска, определить деформации на свободных поверхностях бруска, а по ним путем сравнения искажений определенных кружков на разных сторонах определить деформации для каждого участка в зоне, ограниченной данным кружком.

Нами использовался штамп, который обеспечивал воспроизведение кружков (от 1 до 2) на следующей высоте по сечению от зоны растяжения:

$0—0,1h—0,3h—0,5h—0,7h—0,9h—h$ , а также определялись деформации растяжения и сжатия вдоль и поперек волокон посредством замеров искажений соответствующих диаметров кружков, расположенных на боковой и внутренней сторонах бруска после гнутья заготовки.

Были приняты измерения искажений размеров наружных диаметров кружков. Все измерения производились окуляр-микрометрической линейкой с использованием лупы с 10-кратным увеличением. Линейка имела длину 10 мм и деления в 0,1 мм. Мелкие деления 0,1 мм и мельче прочитывались при помощи лупы с 10-кратным увеличением. Окулярмикрометрическая линейка накладывалась на измеряемый кружок после окончания гнутья заготовки с замером двух взаимноперпендикулярных диаметров в каждом кружке.

Определение деформаций, возникающих в древесине при гнутье, производилось для мебельных заготовок из кавказского бука размером  $1550 \times 42 \times 42$  мм, изгибаемых по замкнутому контуру при радиусе шаблона  $R=170$  мм. Изучались деформации, возникающие по длине и по сечению брусков, изгибаемых: по копиру и снимаемых с него после гнутья (Московская фабрика гнутой мебели) и по шаблону (форме) и остающихся на нем после гнутья на период сушки.

В результате экспериментального исследования были определены деформации растяжения и сжатия вдоль и поперек волокон древесины при гнутье 26 мебельных заготовок.

В результате изучения и обработки полученных данных можно сделать заключение.

1. В опасном (посредине бруска) сечении (на длине

0,50 *l*) деформации как растяжения, так и сжатия больше аналогичных деформаций в сечении на расстоянии 0,25 *l* от конца со скосом.

2. Деформации сжатия вдоль волокон колеблются на *вогнутой* (сжатой) стороне: а) по бокам бруска (на участках 0—*h*) от 17,65 до 22,35%, б) посередине бруска (на участке 0,5*h*) от 8,23 до 17,65%. Меньшие деформации в случае (б) по сравнению со случаем (а) объясняются тем, что средние волокна меньше сжимаются вдоль оси (продольный изгиб, сопровождающийся складкообразованием), испытывая поддерживающее действие с двух сторон от соседних волокон. У крайних волокон поддерживающее действие имеется лишь с одной стороны.

3. Степень прессования мебельных заготовок из кавказского бука поперек волокон при гнутье на шаблоне (Майкопский мебельный комбинат) составляет от 1,178 до 12,95%, а при гнутье по копиру (Московская фабрика гнутой мебели) — от 1,178 до 11,78%, т. е. почти одинакова.

4. При прессовании бруска вдоль и поперек волокон происходит некоторое уширение бруска по сечению в пределах от 2,36 до 5,88% на отметках от 0,3*h* до 0,7*h*. Наиболее интенсивное уширение наблюдается на отметке 0,5*h* (посередине ширины бруска). При этом на длине 0,50 *l* уширение более значительно, нежели на длине 0,25 *l*.

5. При гнутье с шиной нейтральная ось находится на высоте 0,1*h* (опасное сечение) и 0,14*h* (сечение на длине 0,25 *l*) от зоны растяжения.

6. В среднем максимальные деформации растяжения имеют пределы от +4,94% (сечение на длине 0,25 *l*) до +7,35% (опасное сечение), т. е. несколько больше допустимых расчетных (+2%), известных по литературным источникам [12 и 13].

7. В среднем максимальные деформации сжатия имеют пределы от 14,13% до —18,24% на высоте 0,9*h* от зоны растяжения (выпуклой стороны бруска), т. е. несколько меньше допустимых расчетных (—30%), известных по тем же литературным источникам.

8. Деформации сжатия при гнутье мебельных заготовок из древесины кавказского бука толщиной *h* = 40 мм на радиус *R* = 170 мм занимают приблизительно 86—90% всего сечения бруска.

Ю. С. Быченко для косяка колеса размером *h* = 30 мм, *b* = 140 мм и *l* = 750 мм (радиус *R* и порода не указаны) установил, что деформации сжатия занимают около 85—87% всего сечения.

В опасном сечении, по данным исследования Ю. С. Быченко, деформации сжатия доходят до 17%, а деформации растяжения — до 2,8%. Он считает, что чем больше сечение

бруска и чем дальше периферийная зона отстоит от нейтральной линии, тем больше вырастает величина деформаций и наоборот. По его данным, для брусков сечением  $20 \times 30$  мм деформации достигают 2,7% для сжатой и 0,5% для растянутой зоны. Этот вопрос автор не увязывает с величиной радиуса изгиба.

Необходимо сделать пояснения к табл. 1 (приведенной как пример из общего числа обработанных нами 26 таблиц).

1. Пропуски обозначают, что отпечаток не воспроизведен достаточно хорошо, т. е. настолько, чтобы было возможно его *правильно измерить*. Причиной этого являются местные неровности поверхности, подготовленной для воспроизведения печати, главным образом, впадины.

2. В строке № 1 записаны замеры  $l$  в мм в направлении  $xx$  (продольная ось бруска или близко к этому направлению). При записи замеров оси эллипса (большой и малой) или диаметра круга (неискаженного после деформации) учитывается направление волокон бруска.

3. В строке № 2 записаны замеры  $h$  в мм в направлении  $yy$  (поперечная ось бруска) или близко к этому направлению.

4. В строках № 3 и № 4 записаны замеры (по абсолютной величине), соответствующие большой главной оси  $2a$  (строка 3) и малой главной оси  $2b$  (строка 4) эллипса.

5. В строках № 5 и № 6 даны соответственно величины

$$\ln \frac{l}{l_0} \quad \text{и} \quad \ln \frac{h}{h_0},$$

где  $l$  и  $h$  — конечные величины в направлении оси соответствующего замера;

$l_0$  и  $h_0$  — начальные величины диаметра соответствующего отпечатка;

$M=0,4343$  — модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным.

6. В строке № 7 записана алгебраически наибольшая величина  $ME_1$  из двух величин, данных в строках № 5 и № 6. В строке № 8 записана алгебраически наименьшая величина  $ME_2$  из двух величин, данных в строках № 5 и № 6.

7. В строке № 9 даны приращения (+) или уменьшения (—) размеров по длине, соответствующие величинам удлинений (+) или укорочений (—) вдоль волокон.

8. В строке № 10 тоже поперек волокон.

9. Нуль показывает отсутствие деформации (и напряжения).

10. В строках № 11 и № 12 записаны относительные деформации вдоль волокон в процентах  $E'_l = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%$  и поперек

волокон  $E'_h = \frac{h - h_0}{h_0} 100\%$ . Пример:  $E'_l = \frac{9,08 - 8,5}{8,5} 100\% =$

$$\frac{0,5}{8,5} \cdot 100 = 0,0588 \cdot 100 = 5,88\%.$$



11. Напряжения сжатия  $-\sigma_l$  или растяжения  $+\sigma_l$  вдоль волокон определены по диаграмме А. Проделя [12], И. И. Леонтьева [13] для пропаренного бука в зависимости от деформаций, определенных нами в результате замеров и обработки искаженных кружков на свободных (боковой и внутренней) поверхностях брусков.

12. Напряжения сжатия (прессования) поперек волокон  $-\sigma_h$  определены по данным проф. П. Н. Хухрянского [14].

13. Углы поворота эллипсов деформаций по высоте бруска от растянутой стороны на отметках: 0; 0,1*h*; 0,3*h*; 0,5*h*; 0,7*h*; 0,9*h* и *h* определены на основе теории проф. Г. А. Смирнова-Аляева [8, 9].

Углы поворота эллипсов деформации, полученные по расчету, соответствуют действительным углам их поворота на брусках.

14. Напряжения при растяжении поперек волокон  $+\sigma_h$  в направлении, перпендикулярном плоскости прессования, не определены вследствие отсутствия в литературе зависимости напряжения от деформаций этого вида для пропаренного бука.

15. В табл. № 1 отпечатки воспроизведены на боковой (свободной) стороне бруска, расположенной в плоскости изгиба.

16. Брусок ориентирован следующим образом: по длине *l*—ось *x*, по толщине *h*—ось *y*.

Вид деформированного состояния малого материального объема формоизменяемого тела может быть определен следующей зависимостью [8].

$$\frac{E_1 + E_2 - 2E_3}{E_1 - E_2} = \frac{\operatorname{tg}(\beta - 30^\circ)}{\operatorname{tg} 30^\circ} \quad \text{или} \quad \frac{ME_1 + ME_2 - 2ME_3}{ME_1 - ME_2} = \frac{\operatorname{tg}(\beta - 30^\circ)}{\operatorname{tg} 30^\circ},$$

полагая (см. ниже)  $E_3 = 0$ , получим  $\frac{ME_1 + ME_2}{ME_1 - ME_2} = \frac{\operatorname{tg}(\beta - 30^\circ)}{\operatorname{tg} 30^\circ}$ ,

приравняем  $\frac{ME_1 + ME_2}{ME_1 - ME_2} = m$ , тогда будем иметь:

$$\operatorname{tg}(\beta - 30^\circ) = m \cdot \operatorname{tg} 30^\circ.$$

Величина угла  $\beta$  определяет степень поворота (наклона) большой оси эллипса деформации (после изгиба бруска) относительно оси *xx*, направленной вдоль волокон бруска.

Величина угла  $\beta$  показывает, таким образом, направление деформаций в малом участке формоизменяемого тела.

После изгиба бруска ось *x* определяется как касательная к радиусу, проведенному через центр круговой риски.

Вид деформации определяется знаком  $+$  (растяжение) и  $-$  (сжатие).

$E_1, ME_1$ —главная деформация в направлении первой главной оси (вдоль волокон), т. е. направлении наибольшего удлинения, *алгебраически наибольшая* величина.

$E_2, ME_2$ —главная деформация в направлении второй главной оси, т. е. направлении наибольшего укорочения, *алгебраически наименьшая*.

$E_3, ME_3$ —главная деформация в направлении третьей главной оси, т. е. направлении, перпендикулярном первым двум, *алгебраически средняя*. При изучении плоского краевого деформирования на поверхности бруска (в периферических пластических зонах)  $E_3=0$  это принимается только условно, если пренебрегать уширением бруска при прессовании его по толщине.

Изучение местных деформаций производилось замерами и обработкой круговых рисок, нанесенных с трех сторон бруска (боковой, растянутой и сжатой) по линии поперечного пояса.

Деформация типа VI (рис. 3) наблюдалась на внутренней (сжатой) стороне заготовки. Вдоль волокон древесины после гнутья происходит усадка, а поперек волокон бруска—уширение вследствие некоторого прессования по толщине заготовки.

Деформация типа III была на внешней (растянутой) стороне заготовки. Вдоль волокон древесины после гнутья здесь происходит удлинение, а поперек волокон бруска также некоторое уширение из-за прессования по толщине заготовки.

Деформация типа II имела место на боковой поверхности бруска в зоне растяжения, а типа IV—в зоне сжатия при гнутье без прессования. Здесь в первом случае происходит только удлинение вдоль волокон, а во втором случае—лишь сжатие, также вдоль волокон.

Деформация типа I соответствует расположению нейтральной оси на боковой поверхности бруска при гнутье его без прессования. Здесь нет ни усадки, ни удлинения.

Деформация типа V наблюдалась на боковой поверхности бруска в зоне сжатия при гнутье с прессованием, когда усадка вдоль и поперек волокон древесины одинакова.

Деформация III-а, V-а, VI-а и VI-б отличаются от соответствующих основных видов лишь размерами удлинения или усадки. Эти виды деформации также имеют место при гнутье древесины. Они, кроме VI-б, показывают, что величины усадки и удлинения неодинаковы.

В центре каждого кружка или эллипса сосредоточены векторы двух главных тензоров деформаций, отличающиеся в зависимости от местоположения центра по величине, на-

правлению и знаку. Стрелками вне кружков показаны возможные углы поворота эллипсов деформаций.

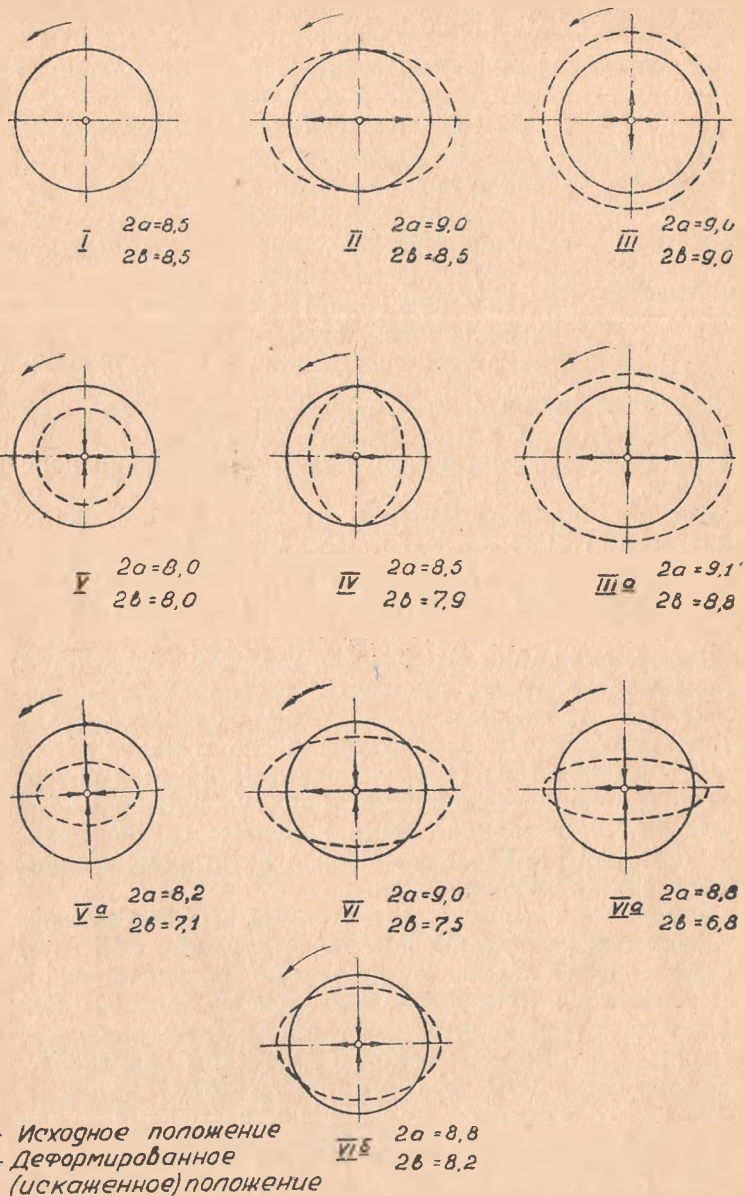












Рис. 3

Принципиальные схемы различных случаев главных тензоров деформаций, полученных при гнутье древесины по замкнутому контуру.



Таблица 1

Результаты обработки замеров искаженных кружков. Брусок № 1 (0,25 l). Сторона в плоскости изгиба

По высоте от растянутой стороны	0	0,1 h	0,3 h	0,5 h	0,7 h	0,9 h	h			
№№ кружков										
Величины замеров и показателей	1/1	2/1	2/2	3/1	4/1	4/2	5/1	6/1	6/2	7/1
<i>l</i> мм	9,0	8,5	8,6	7,7	8,1	7,6	7,3	7,0	6,6	
<i>h</i> мм	7,4	7,4	7,4	7,9	8,3	8,1	8,5	8,5	8,5	
2а мм	9,0	8,5	8,6	7,9	8,3	8,1	8,5	8,5	8,5	
2в мм	7,4	7,4	7,4	7,7	8,1	7,6	7,3	7,0	6,6	
ME <sub>l</sub>	0,0248	0,0000	0,0051	-0,0429	-0,0209	-0,0486	-0,0661	-0,0843	-0,1099	—
ME <sub>h</sub>	-0,0602	-0,0602	-0,0602	-0,0318	-0,0104	-0,0209	0,0000	0,0000	0,0000	—
ME <sub>1</sub>	0,0248	0,0000	0,0051	-0,0318	-0,0104	-0,0209	0,0000	0,0000	0,0000	—
ME <sub>2</sub>	-0,0602	-0,0602	-0,0602	-0,0429	-0,0209	-0,0486	-0,0661	-0,0843	-0,1099	—
± Δ <i>l</i> мм	0,5	0,0	0,1	-0,8	-0,4	-0,9	-1,2	-1,5	-1,9	—
± Δ <i>h</i> мм	-1,1	-1,1	-1,1	-0,6	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	—
E' <sub>l</sub> %	5,880	0,000	1,178	-9,410	-4,710	-10,600	-14,110	-17,650	-22,350	—
E' <sub>h</sub> %	-12,950	-12,950	-12,950	-7,060	-2,360	-4,710	0,000	0,000	0,000	—
± σ <sub>l</sub> кг/см <sup>2</sup>	> 1437,5	0	1025,0	-218,0	-210,0	-220,0	-231,5	-240,0	-249,0	—
± σ <sub>h</sub> кг/см <sup>2</sup>	-68,45	-68,45	-68,45	-50,4	-36,04	-43,23	0	0	0	—
β°	16°30'	0°00'	4°00'	-45°30'	-29°50'	-25°30'	0°00'	0°00'	0°00'	—
Поворот эллипса относительно осей <i>xx</i> <i>yy</i>	<i>xx</i>	<i>xx</i>	<i>xx</i>	<i>yy</i>	<i>yy</i>	<i>yy</i>	<i>yy</i>	<i>yy</i>	<i>yy</i>	—
Диаграммы деформаций										

При нанесении круговых рисок на внешнюю и внутреннюю стороны бруска, которые после изгиба становятся соответственно выпуклой и вогнутой, изучалось влияние выпуклости и вогнутости (кривизны выпуклости и кривизны вогнутости) на точность замера каждого кружка.

Влияние на точность замера одного кружка наблюдающейся при гнутье так называемой антикластической (седловидной) кривизны изогнутого бруска нами не изучалось.

На боковые грани бруска прямоугольного или квадратного сечения наносится сетка, состоящая из расположенных на определенном расстоянии окружностей (рис. 4). Производятся измерения двух взаимно перпендикулярных диаметров и углов их поворота.

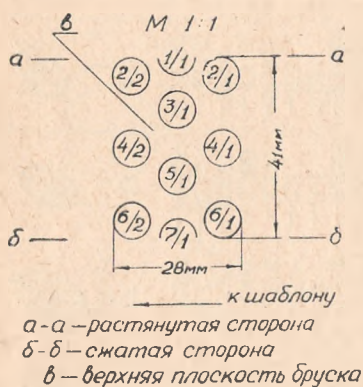


Рис. 4  
Нумерация круговых рисок отпечатка.

Искривление сетки из окружностей на обеих боковых поверхностях бруска из древесины в силу симметрии сечения должно быть примерно одинаково.

Можно только условно предположить, что распределение деформаций, наблюдаемое на поверхности бруска, имеет место и внутри него, т. е. во всех плоскостях, параллельных боковым, закон постепенного перехода от удлинения к укорочению волокон одинаков.

Принятый графоаналитический способ позволяет лучше исследовать напряженно-деформированное состояние гидротермически обработанной древесины при скоростном гнутье ее на станках.

## ВЫВОДЫ

1. Разработан метод исследования местных пластических деформаций, возникающих при гнутье нагретой (пропаренной) древесины, — метод напечатанной делительной сетки (из окружностей).

Он позволяет анализировать местные деформации путем замера искажения круговых рисок с определением абсолютных и относительных деформаций одновременно вдоль и поперек волокон (при изгибе с одновременным прессованием вдоль и поперек волокон).

2. Показано, что в среднем величина местных максимальных деформаций растяжения вдоль волокон для хорошо про-

паренного бука, распиленного чистой пилой по сбегу, значительно выше установленных А. Проделем и И. И. Леонтьевым величин (3%) и достигает 5,88% от начальной длины волокна. Местная максимальная деформация сжатия вдоль волокон ниже полученной этими авторами и составляет 22,35%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орехов А. А. О станках для гнутья древесины. «Деревообрабатывающая промышленность» № 9, 1956.
2. Lise W. Tahenbrock. M. Elektronenmikroskopische Untersuchungen über den Bau der Hoftüpfel. Holz als Roh und Werkstoff, 1952. Heft 5, 197—201.
3. Гудкова Т. И., Карский Н. Е. и Соболев Г. И. Изучение микропластичности технических сплавов с помощью микросетки. «Заводская лаборатория» № 7, 1949.
4. Фридман Я. Б. и Зилова Т. К. Изучение неоднородности пластической деформации методом накатанной делительной сетки. Труды Министерства авиационной промышленности СССР № 118, Оборонгиз, М., 1949.
5. Бурмистров Ф. Л. Фотограмметрический метод измерения пластической деформации образцов с применением точной камеры Ф. Л. Бурмистрова. Исследования по теории пластичности. Сборник III, Л., 1939.
6. Бурмистров Ф. Л. Точная фотографическая камера. Труды Государственного оптического института, т. VI, вып. 55, 1931.
7. Шевандин Е. М. Исследование местных деформаций при пластическом изгибе в связи с вопросом о пробе на загиб. «Заводская лаборатория» № 4, 1957.
8. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическим деформациям. Машгиз, М.—Л., 1949.
9. Смирнов-Аляев Г. А. Теория пластических деформаций металлов. 1956.
10. Stevens W. C. Beilding wood. «The timber trades», journal № 3049, 2. II, 1935.
11. Быченко Ю. С. Распределение напряжений, возникающих по сечению и по длине бруска в процессе гнутья, и явление упругого последействия (релаксация). «Механическая обработка дерева» № 11, М., 1934.
12. Продель А. Гнутье древесины. ГЛТИ, М., 1934.
13. Леонтьев И. И., Абухов Л. Г. Производство гнутой мебели. Гослесбумиздат, 1954.
14. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. М.—Л., 1949.