

## **ВВЕДЕНИЕ**

Научно-технический прогресс, захватывающий все области деятельности человека, не обошел стороной и производство художественных изделий. В современном мире существует большое количество разнообразных технологических приемов и способов формообразования металлических и неметаллических материалов в художественных изделиях (литье, пластическая деформация, механическая обработка), включая аддитивные технологии, а также методы создания декоративных и защитных покрытий.

Подавляющее большинство художественных изделий из металлических материалов формируются двумя основными способами: либо литьём из жидкого металла, либо деформацией твёрдой заготовки с применением давления. Есть и другие способы, например гальванопластика и металлизация, но их объёмы в изготовлении художественных изделий из металла чрезвычайно малы. В настоящем учебнике к процессам изменения формы твёрдой заготовки с применением механической обработки отнесены такие способы, как ручное резание и рубка.

При рассмотрении различных приёмов техники изготовления художественных изделий методами пластического деформирования в данном учебнике изложены основы теории пластической деформации металлов с учётом положений, сформировавшихся на конец XX — начало XXI вв.

Художественная деформация металла имеет целый ряд специфических особенностей, отличающих её от деформации в металлургическом и машиностроительном производстве. Прежде всего, это применение специфических технологических приёмов, таких как выколотка, басма, тауширивание, гравирование и др. Практически все художественные произведения изготавливаются вручную. Исключение составляют некоторые виды ширпотреба, например монеты, значки. При изготовлении одного изделия различные процессы деформации идут последовательно один за другим. Процессы отделки изделий (механические, химические, электрохимические, электрофизические и др.) часто являются доминирующими в придании изделию потребительской ценности.

Настоящий учебный материал изложен с учётом необходимой предварительной подготовки студентов в области основ высшей математики, физики, химии, художественного материаловедения, а также механических, физических и технологических свойств материалов.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлению «Технология художественной обработки материалов», а также по смежным направлениям и специальностям. Может быть полезен инженерно-техническим и творческим работникам предприятий и организаций, занимающимся реставрацией и производством изделий декоративно-прикладного искусства: преподавателям, инженерно-техническим и творческим работникам.

# **1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ**

## **1.1. ИЗ ИСТОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

### **1.1.1. Ковка металлов в древности**

Первым технологическим процессом обработки металла была его деформация. Первобытный человек с помощью каменных инструментов стал отковывать различные орудия труда, предметы быта, оружие, стараясь придать этим изделиям красивые формы. Таким образом, деформацию металла можно назвать одним из самых древних способов изготовления художественных изделий, применяемых и по сей день.

Как только древний человек расплющил камнем самородок металла, кузнец на долгое время стал единственным специалистом по металлообработке. Потребность в его мастерстве была столь высока, что вскоре эта профессия распространилась повсеместно. Недаром, по утверждению статистики, фамилия Кузнецов — самая распространенная на Земле (ср. Smith, Schmidt, Коваленко, Kowac, Kowalsky, Ferrant и другие производные от этих фамилий).

Кузнецы были уважаемыми людьми у всех народов. В Средние века вождям африканских государств на юге Сахары и на территории современного Конго необходимо было знать кузнечное дело. У бурят кузнецом мог стать только тот человек, среди предков которого уже были кузнецы. Кузнецы принадлежали к высшему классу общества, их освобождали от уплаты налогов и считали посланцами богов. У монголов дархаты — это кузнецы в звании, соответствующем рыцарскому. История Англии знает примеры, когда в Средние века удачливые кузнецы становились лордами.

В старинной французской книге «Зрелище природы и художеств» (1788) написано: «Ни который художник (ремесленник — авт.) столько в обществе человеческом не нужен, как кузнец». Кузнечным ремеслом увлекался даже французский король Людовик XVI, физически очень сильный человек. Он устроил в Версале собственную кузнечную мастерскую.

Единственным «рабочим» среди богов различных религий был бог-кузнец: Гефест — у греков, Вулкан — у римлян, Сварог — у славян, Ильмаринен — у финнов.

Бог-кузнец Гефест, сын Зевса и Геры, — один из ярчайших персонажей греческой мифологии. Бог огня и художественного ремесла был уважаем на Олимпе не только потому, что создал другим богам дворцы из металла, но и потому, что был художником высочайшего уровня. Гефест не только умел ковать мечи, но и в совершенстве владел техникой выколотки, чеканки, инкрустации (рис. 1.1). Древний мастер был одновременно и автором, и исполнителем своих творений. Можно утверждать, что художественная обработка металла имеет тот же возраст, что и металлообработка.



Рис. 1.1

*Кузница Гефеста. Помпей. Барельеф. II век до н. э.:*

Гефест сидит и с циклопами выковывает щит Ахилла, слева стоит Афина — богиня мудрости, справа (у горна) — жрица, которая следит за огнем.

О технике обработки металлов, достигнутой в Египте примерно 40 веков назад, можно судить по изображениям, найденным в гробнице фараона Мереруба (рис. 1.2). Чиновник отвешивает металл (золото), и писец записывает его количество. На следующем рисунке шесть человек раздувают плавильный горн трубками. Дальше мастер разливает металл из тигля в форму, а помощник задерживает шлак. Слиток отбивают камнями и доводят до готового изделия.



Рис. 1.2

*Сцена, изображающая обработку металла.  
Гробница фараона Мереруба. 2315–2190 гг. до н. э.*

Примером высокого уровня обработки металлов в Древнем Египте служит золотой саркофаг, обнаруженный в гробнице фараона Тутанхамона, умершего около 1350 г. до н. э. На изготовление саркофага ушло 110,4 кг золота.

Первым железом, которое попало в человеческие руки, было метеоритное. Это железо было большой редкостью и стоило очень дорого. Первые предметы из железа хранили в храмах среди наиболее дорогих сокровищ.

Самое древнее железное изделие, найденное в Египте и отнесенное также к IV тыс. до н. э., — ожерелье из прокованных полосок метеоритного железа. В древности люди приписывали железу сверхъестественные свойства. Шумеры, например, называли его «небесной медью». Поэтому к мастерам по обработке металлов относились не только почтительно, но и боязливо.

С изобретением сырродутного горна стало возможным получение железа из руд.

Кричный горн представлял собой яму, над которой возвышалась куполообразная шахта с воздушными каналами для дутья (рис. 1.3).

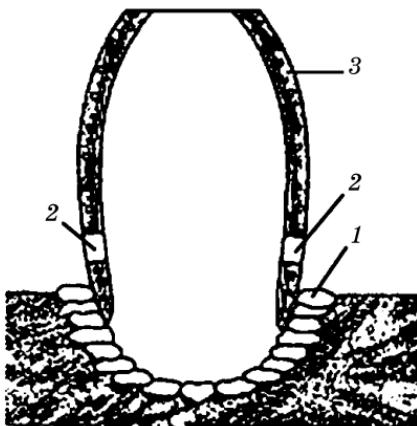


Рис. 1.3

*Сыродутный кричный горн:*

1 — облицовка из камня; 2 — воздушный канал; 3 — кожух из глины, укрепленный деревянными жердями.

Кричное железо получали следующим образом: в рабочее пространство горна слоями загружали древесный уголь и измельченную руду. Горновой управляем дутьем, регулируя поток воздуха, поступающего из кузнецкого меха. Из горна через боковые отверстия стекал

шлак. Через 4–8 ч рабочие с помощью железных стержней извлекали из горна сплющуюся губчатую массу, содержащую железные зерна вместе со шлаковыми включениями, — крицу. Она могла иметь массу до 150 кг. Затем крицу долго обрабатывали молотами, чтобы уплотнить ее и выдавить часть шлака.

Далее крицу разделяли на части, которые протягивали на наковальне, и получали требуемое изделие.

После того как для дутья стали применять мехи с приводом от водяного колеса, температура возросла настолько, что наряду со шлаком стало накапливаться и жидкое железо, насыщенное углеродом. Это был не поддававшийся ковке чугун, который вначале просто выбрасывали. Позднее его стали применять для литья. Сыродутный процесс прямого восстановления железа из руды просуществовал в Европе до 1850 г., а в Америке — до 1890 г.

Начиная с VIII столетия до н. э. в Европе наступил расцвет железного века, когда железо стало важнейшим и наиболее распространенным металлом, применяемым в хозяйственной и военной деятельности человека.

Кельтские племена, населявшие территорию Европы, достигли совершенства в обработке металла к V–I вв. до н. э. Они научились оснащать железные инструменты (топоры, лемехи, мечи, ножи) стальными лезвиями. Чтобы получить особенно хорошую сталь, кельты закапывали в землю железные полосы, откованные из криц. Эти полосы состояли из мягкого и упрочненного железа. Ржавчина разрушала в первую очередь мягкие части заготовок. Последующей обработкой изготавливали однородные твердые изделия. Кельты применяли закалку и отпуск, владели технологией насечки.

Впечатляющие шедевры были созданы металлургами Древней Индии. В Дели стоит знаменитая колонна Чадрагупты массой 6,5 т, высотой 7,5 м и диаметром 40 см. Она сооружена в 380–300 гг. до н. э. До сих пор вызывает удивление тот факт, что на ней нет следов ржавчины, хотя эта колонна длительное время находилась в условиях влажного тропического климата, а в последнее время к ним добавились скопления вредных соединений от выбросов огромного города. Самым удивительным достижением индийских кузнецов, прославившим их на многие века, явилось открытие способа изготовления булатной стали (I в. до н. э.).

**Булатная сталь** — углеродистая литая сталь, которая благодаря особому способу изготовления отличается своеобразной структурой и видом (узором) поверхности, высокой твердостью и упругостью.

Тайну булатной стали первым раскрыл русский металлург П. П. Аносов в середине XIX в. Он доказал, что качество стали неразрывно связано с рисунком и что чем ярче и крупнее узор, т. е. чем больше макроструктурная неоднородность, тем выше качество клинка.

Крупным считался узор, элементы которого достигали размеров нотных знаков, а мелким — узор, который хотя и с трудом, но все-таки можно различить. Особенность булатной стали (в отличие от дамасской) состоит в том, что рисунок ее узора никогда не повторяется.

Булатная сталь, которую можно рассматривать как композиционный материал, продолжает вызывать интерес и в наше время.

Издревле мастера применяли обработку металлов давлением при изготовлении кованой проволоки, используемой для филиграных изделий. Проволоку ковали мелкими отрезками и в случае необходимости припаивали.

Наиболее древние памятники филигранного искусства, относящиеся к XX в. до н. э., найдены в странах Малой Азии, Египте, на Кавказе. При археологических раскопках на реке Цалке (Кавказ) найдены золотое ожерелье и кубок, украшенные витыми шнурями и зернью.

Одним из способов обработки металлов, посредством которого в Древнем мире украшали различные изделия, была насечка. В Древней Греции эту технологию называли хризографией. Сохранились бронзовые изделия, инкрустированные золотом и серебром.

### **1.1.2. Кованые изделия Средневековья**

Средневековье было периодом расцвета многих ремесел, связанных с металлообработкой. Найденные в раскопках предметы обихода и художественные изделия, отлитые или выкованные из металла, свидетельствуют о высоком искусстве и больших технических возможностях мастеров того времени.

Индия в этот исторический период торговала со многими странами. Приобретая индийские изделия из булатной стали, кузнецы этих стран долгое время пытались сымитировать ее, но раскрыть секрет так никому и не удалось.

В этот период на Востоке появилась дамасская сталь — это сталь, полученная кузнечной сваркой сплетенных в жгут стальных полос или проволок с разным содержанием углерода.

На Руси многослойную сварную сталь (типа дамасской) называли «харалуг». Еще она имела название «русский булат». Технология

изготовления оружия из такой стали была известна славянским народам в IV в. н. э.

В настоящее время существует много марок как литой, так и деформируемой стали, механические свойства которой превосходят дамасскую сталь. Изготовление изделий из стали этих марок обходится значительно дешевле.

Поэтому даже для охотничьих ружей дамасскую сталь перестали применять. Она представляет для нас только исторический интерес.

В Средние века ремесленники начали специализироваться по отдельным металлам, видам изделий. Одни мастера делали ножи, другие подковывали лошадей, третьи изготавливали посуду и т. д.

Наибольшим почетом везде пользовались оружейники. Одним из ярких представителей оружейников первой половины XVII в. был Никита Давыдов, который имел титул мастера «латных и самопаль-ных дел». Он изготавливал уникальные изделия из булатной стали, в том числе стволы для парадных царских ружей.

В это же время шла специализация кузнецов по районам. В Устюге ковали пушки, пищали, ядра, в районе Белоозера — топоры, ножи, косы, в Костроме — безмены, в Твери — иглы, крючки, сапожные гвозди.

Искусство плетения кольчуг из проволоки было известно еще во времена Римской империи. Большим мастерством отличались викинги. Процесс плетения кольчуги был чрезвычайно трудоемким. Для этого необходимо было отковать более 40 тыс. колечек, а затем склеивать их специальными заклепками. В X в. для изготовления проволоки использовали волочильные доски со многими отверстиями. Иногда для большей нарядности в кольчугу вплетали кольца из цветных металлов: меди, золота, серебра.

Кузнецным способом изготавливали шлемы, которые были цельноковаными и составными. Менее трудоемкие составные: их собирали из нескольких полос и соединяли при помощи заклепок. Места соединения прикрывали различными декоративными накладками.

Кузнецы, кроме того, владели технологией так называемой эластичной штамповки. В специальных штампах с эластичной средой — свинцом или кожей — изготавливали различные бляшки из листового золота или серебра для украшения одежды, сбруи коня и других предметов быта.

Технология изготовления пушек была сложной. Сначала отковывали из крицы «доски» — металлические листы толщиной до 10 мм, шириной 1900 мм и длиной 1400 мм. Затем готовили кромки

для продольной и поперечной сварки. Далее доски гнули в трубу на желобчатой наковальне и сваривали продольный шов ствола внахлест. После этого приваривали остальные звенья ствола.

Специфическим направлением кузнечного производства является изготовление якорей. Известно, что первый железный двурогий якорь был откован скифом Анахарсисом в VII в. до н. э. В России якоря до конца XVII в. ковались вручную, а затем — при помощи молотов на якорных фабриках.

Среди декоративной отделки изделий с использованием способов давления сусальное золочение занимает особое место. Термин «сусальное» происходит от слова «сусаль» — лицо, лицевая сторона. Золочение сусальным золотом деталей архитектурных сооружений широко применялось в Киевской Руси в X–XII вв. Этому способствовали относительная несложность и экономичность этого метода — незначительные потери золота при золочении.

Одной из разновидностей обработки металлов давлением является техника тиснения, которую знали еще в Средневековье. На Руси эта техника начала развиваться — использовали для оковки как культовых, так и светских изделий, иконостасов, еще в домонгольский период. В X–XII вв. её применяли в основном для изготовления рельефных заготовок под чернь и эмаль. Изделия, полученные таким способом, — басмы переплетов книг, сундуков, ларцов и т. п. Основу изделия делали из дерева и на неё при помощи мелких гвоздей набивали басму, сплошь закрывая деревянную основу. Наивысшего расцвета тиснение басмы получило в XVI–XVII вв.

В Средние века непрерывно совершенствовался процесс изготовления проволоки. На смену ковке пришло волочение. Волочильные доски стали использовать с X в. Существовал оригинальный способ изготовления такой проволоки. Волочильщик укреплял волочильную доску между двумя столбами. Затем садился перед ней на качели, захватывал конец проволоки прикрепленными к поясу клемщами и, упираясь ногами в столбы, отталкивался назад. Отпустив клемщи и согнув ноги, он возвращался в прежнее положение и начинал снова.

Волочение железа появилось в Германии в XIII в., а в Англии и Франции — в XVI в.

На Руси в Средние века мастера владели технологией филигранного искусства. В разных странах и в разное время филигранные изделия имели свои особенности. Русская филигрань отличалась плавным ритмом узоров, мягкостью изгибов нитей металла, четкостью рисунка.

В XVI и XVII вв. филигрань становится полихромной. В композицию включаются неметаллические материалы — эмаль, стекло, камни, резное дерево, кость.

В XVIII в. множится число мастерских. Появляется разделение труда. Наряду с крупными уникальными ажурными изделиями популярными стали мелкие, в основном серебряные, бытовые изделия — коробочки, вазочки, туалетные принадлежности.

Своеобразный способ украшения различных изделий золотыми и серебряными узорами — насечка — получил развитие в XII в. До нас дошли образцы, относящиеся к этому периоду, созданные мастерами Древней Руси, Византии, Сирии, Ирана, Китая, Японии, Европы, Кавказа.

### **1.1.3. Изделия конца XVII — XX вв.**

В конце XVII в. железное производство становится промышленным. В России центр железноделательного производства постепенно переместился в Тулу. В 1632–1637 гг. там был построен первый доменный завод Московского государства.

Высокого мастерства достигли тульские мастера. Их изделия долгое время ценились наравне с ювелирными украшениями. Шкатулки, столики, оружие, канделябры, письменные приборы, изготовленные в XVIII–XIX вв., стали гордостью русского прикладного искусства. Они украшают коллекции лучших музеев мира.

Конец XVIII в. знаменовал начало технической революции.

Развивались тяжелая промышленность, судостроение, производство различных видов вооружения, в том числе артиллерии. Революционные преобразования XIX в. не могли не сказаться на дальнейшем развитии процессов обработки металлов давлением при изготовлении художественных изделий.

Середина XIX в. характеризуется целым рядом технических открытий. Появились мощные прессы, аппараты газовой и дуговой сварки, автогенная резка металла, разнообразный сортамент изделий стандартного металлопроката.

Совершенствуются технические средства волочильного производства. Усложнялась форма проволоки. Появились волоченая квадратная сталь, колесная проволока с 6–12 желобками. Часовщики из такой проволоки делали часовые колеса.

Совершенствуется технология ковки. Многие операции стали выполнять механизированным способом. Начали применять точенные и штампованные детали, крученые прутки, катаные профили. Получу-

чили распространение орнаментальные детали промышленного изготавления.

XVIII–XIX вв. отмечены развитием техники выколотки (дифовки). На Руси эту технику называли «выбивкой», техникой «битой», или «кованой», меди. В 1750 г. из меди был выколочен и позолочен трубящий ангел для Красных ворот в Москве.

В XIX в. интерес к кованому металлу для сооружения оград, балконных решеток, перил и других элементов городского убранства снизился. Наступила пора увлечения чугунным кружевом. Революционный прогресс в области литейного производства создал условия для изготовления более ажурных и более дешевых художественных изделий.

Однако из кованого металла продолжали изготавливать замечательные художественные произведения. Среди них особую группу составляют навесы над входом в здание.

В начале XX в. конструктивизм пришел на смену модерну. Потребность в работах художника-кузнеца стала исчезать. Его место занял художник-сварщик, который из элементов массового производства металла — прутков, полос, профилей — создавал разного рода конструкции, главным образом при помощи сварки.

В нашей стране в 1920-х гг. и несколько позднее художественной ковкой практически не занимались.

В середине XX в. в металлургической промышленности было создано специализированное высокопроизводительное оборудование для производства фасонных профилей из стали, алюминиевых и других сплавов. В целях уменьшения затрат в области архитектуры и градостроительства высказывались рекомендации шире использовать профильный прокат при создании новых объектов.

В середине XX в. мастера вновь обратились к технике выколотки для изготовления художественных изделий. Такими изделиями украшали стены стадионов, вокзалов, домов культуры, дворцов спорта.

Из нержавеющей стали выколочена двухфигурная композиция «Рабочий и колхозница» высотой 24 м по модели скульптора В. И. Мухиной.

Во второй половине XX в. вновь обратились к художественной ковке. При массовом индустриальном строительстве серых однотипных домов-коробок применение металла должно было несколько оживить общую картину.

Но это были, как правило, изделия, изготовленные кузнечно-слесарными средствами, в большинстве своем выполненные гибкой и сваркой сортового проката.

В это же время возобновился интерес к старинным бытовым изделиям. В частности, появление подсвечников в интерьере должно было оживить широко распространенную в тот период простую секционную мебель. Как украшение интерьера стали распространяться каминны, а для их оформления потребовались каминные аксессуары.

В городской среде стали больше уделять внимание кованым изделиям как связующему звену между человеком и архитектурой (ограды, вывески, фонари, указатели).

В 1990-х гг. потребность в оригинальном кованом металле стала заметно возрастать.

В развитии современной художественной ковки проявилось несколько тенденций. Это прежде всего сочетание различных видов обработки металлов: выколотки листового металла, чеканки, различных видов сварки, кузнечно-токарных работ, напыления и т. п.

Для конца XX в. в области декоративно-прикладного искусства характерно создание различных композиций из геометрических фигур. Это дало возможность широко использовать прокат различного сортамента в сочетании со слесарной обработкой и существующими способами сварки.

В настоящее время большую просветительскую работу и работу в области развития науки и техники кузнечного ремесла проводит Музей кузнечной науки и техники в подмосковном поселке Салтыковка.

В России активно действует Международный союз кузнецов. В его уставе говорится, что целью союза является совершенствование традиций художественной ковки, способствование широкому вовлечению ученых, инженеров, специалистов-новаторов в создание новейших технологий, пропаганда исторической и современной значимости.

## **1.2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

### **1.2.1. Сжатие**

*Пластическое сжатие* является одной из основных операций обработки металлов давлением. Подавляющее большинство операций процессов ковки, выколотки, горячей объемной и листовой штамповки, прокатки включает в себя пластическое сжатие.

При осадке цилиндров различных поперечных сечений они стремятся приобрести форму круга, который имеет наименьший периметр из всех плоских фигур при одинаковой площади.

При сжатии тел, у которых высота равна диаметру или меньше его, образуется бочка, что является результатом действия сил трения.

Процессы образования бочки и изменения формы поперечного сечения тела свидетельствуют о неравномерности деформации по его объему. В результате неравномерной деформации на боковых поверхностях тела могут возникать трещины.

*Принцип наименьшего сопротивления* был сформулирован С. И. Губкиным следующим образом: «В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях каждая его точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления».

Для практического применения этого принципа необходимо знать направление траекторий, по которой для точек, на ней расположенных, сопротивление течению будет наименьшим.

Для случая осадки призматических и цилиндрических тел между параллельными бойками при наличии контактного трения эти траектории определяются по принципу кратчайшей нормали. Он заключается в том, что перемещение любой точки тела в плоскости, перпендикулярной к действию внешней силы, происходит по кратчайшей нормали к периметру сечения.

Причем максимальную конечную деформацию тело получит в тех направлениях, по которым будет передвигаться наибольшее количество точек.

Пусть, например, осаживается призма с прямоугольным основанием, одно из сечений которой имеет плоскости, расположенные нормально к направлению действующего усилия (рис. 1.4). Согласно принципу перемещения точек по кратчайшей нормали к периметру сечения прямоугольник можно разделить на два треугольника и две трапеции, представляющих собой граничные линии. Направление движения точек показано стрелками. После некоторой осадки сечение примет вид, показанный на рисунке 1.4а штриховыми линиями. При увеличении степени осадки этого тела периметры его поперечных сечений стремятся к эллипсам, а эллипсы в дальнейшем преобразуются в круги, после чего движение точек происходит по радиусам.

Если бы при осадке отсутствовало контактное трение, то движение частиц в плоскостях, нормальных к направлению внешней силы, носило бы радиальный характер и поперечные сечения в процессе деформации оставались бы подобными исходным (рис. 1.4б).

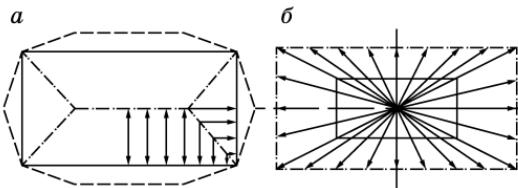


Рис. 1.4

*Схемы перемещения точек прямоугольной призмы при сжатии:*  
с контактным трением (а) и без контактного трения (б).

Осадка заготовок между плоскими горизонтальными бойками сопровождается неоднородностью деформаций внутренних и наружных зон заготовок (рис. 1.5).

При этом деформировании внешние силы действуют параллельно оси заготовки, в то время как в перпендикулярном направлении она остается ненагруженной. Такой вид нагружения наблюдается при ковке, горячей штамповке, чеканке, тиснении и т. п.

Зоны I (рис. 1.5), прилегающие к торцам заготовки, деформируются весьма незначительно, что объясняется влиянием сил контактного трения. Металл в этих зонах как бы менее податлив. Эти зоны расклинивают находящуюся между ними зону II, деформация элементов которой наиболее интенсивна как в осевом, так и в радиальных направлениях. Образуются так называемые конусы скольжения.

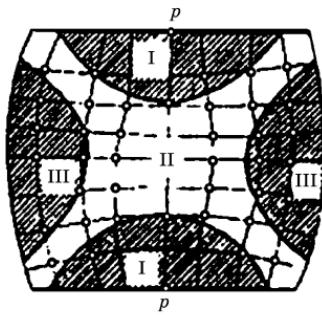


Рис. 1.5

*Неоднородность деформации внутренних и наружных зон заготовки при сжатии*

Интенсивность деформации зоны III занимает промежуточное положение между двумя первыми. По мере увеличения степени осадки или при осадке образцов с большим отношением  $d/h$  зона III резко уменьшается, а зоны I и II сливаются.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)