*Лекция № 19*.

**Физические основы обработки металлов давлением**

1) ***Пластическая деформация*** - сложный физико-химический процесс, в результате которого наряду с изменением формы и строения исходного металла изменяются его механические и физико-химические свойства. Рассмотрела физическую сущность процесса пластической деформации.

Как известно, металлы и сплавы имеют кристаллическое строение, характеризующееся тем, что атомы в кристаллах располагаются в местах устойчивого равновесия в строго определенном для каждого металла порядке.

При особых условиях охлаждения металл затвердевает в виде большого кристалла правильной формы, называемого монокристаллом. Строение монокристалла определяется соответствующей кристаллической решеткой.

Рассмотрим холодную пластическую деформацию монокристалла. Под действием внешних сил в монокристалле возникают напряжения. Пока эти напряжения не превысили вполне определенной для данного металла величины (называемой пределом упругости), происходит упругая деформация. При упругой деформации атомы отклоняются с мест устойчивого равновесия на расстояния, не превышающие межатомные. После снятия нагрузки под действием межатомных сил атомы возвращаются в прежние места устойчивого равновесия, форма тела восстанавливается, при этом изменений в строении и свойствах металла не происходит. Упругая деформация сопровождается незначительным обратимым изменением объема тела, которое, например, для меди при напряжениях сжатия 100 кг/млti2 (980 Мн/м2) составляет 1,3%.

C увеличением внешней нагрузки увеличиваются и отклонения атомов. При определенных для данного металла напряжениях (пределе текучести) атомы смещаются в новые места устойчивого равновесия на расстояния, значительно превышающие межатомные. После снятия нагрузки форма монокристалла не восстанавливается, он получает пластическую деформацию.

Необратимые смещения атомов в монокристалле происходят в основном в виде скольжения и в меньшей степени, в виде двойникования.

Скольжение представляет собой смещение атомов в тонких слоях монокристалла. Смещения происходят по особым кристаллографическим плоскостям, причем расстояние между плоскостями скольжения составляет 100 200А. При определенных условиях следы скольжения можно наблюдать в виде полос на поверхности деформируемого металла.

Двойникование, которое в основном происходит при ударных нагрузках, состоит в стройном смещении группы атомов относительно особой плоскости - плоскости двойникования.

Смещенная часть монокристалла будет являться зеркальным отображением (двойником) недеформированной его части.

Пластическая деформация монокристалла сопровождается искажениeм кристаллической структуры, образованием осколков и возникновeниeм остаточных напряжений в кристалле.

Эти явления, затрудняя процесс дальнейшей деформации, вызывают изменения механических и физико-химических свойств исходного металла: прочность, твердость, электросопротивление и химическая активность увеличиваются, при oдноврeменном уменьшении пластичности, ударной вязкости, магнитной проницаемости и т. д.

Совокупность изменений механических и физико-химических свойств в результате холодной пластической деформации называют упрочнением (или наклепом).

Необходимо иметь в виду, что при пластической деформации никакого изменения плотности металла практически не происходит, его объем остается постоянным.

Как указывалось выше, применяемые в промышленности металлы и сплавы имеют поликристаллическое строение.

При обработке давлением таких металлов происходит пластичecкая деформация отдельных зерен путем скольжения и двойникования (аналогично монокристаллу) и смещение их относительно друг друга. Деформация сопровождается раздроблением зерен и их удлинением в направлении наибольшего течения металла. В результате этого, последний приобретает строчечную мелкозернистую структуру, отчетливо наблюдаемую под микроскопом (рис. 1, а).

Одновременно в зернах, так же как и при холодной деформации монокристалла, искажается кристаллическая структура, oбpазуются кристаллитныe осколки и возникают остаточные напряжения. Рассмотренные явления вызывают упрочнение поликристаллического металла.

B большинстве сплавов всегда присутствуют нeметалличeские примеси (окислы, карбиды и т. д.), которые располагаются между зернами в виде пленок или отдельных шариков. При обработке давлением эти включения раздробляются и вытягиваются, придавая металлу волокнистое строение, котоpoе при соответствующей обработке поверхности наблюдается невооруженным глазом.

Величина пластической деформации металлов ограничена их пластическими свойствами. При некоторой, вполне определенной для каждого металла, величине деформации в нем образуются микротрещины, которые при дальнейшем деформировании интенсивно развиваются и вызывают его разрушение.

2) ***Нагрев металла***. Металлы, обрабатываемые давлением, должны обладать пластичностью, которая определяется механическими свойствами: относительным удлинением, поперечным сужением, ударной вязкостью и др. Ориентировочные данные пластичности металла можно получить испытанием на растяжение. Если предел прочности при растяжении с увеличением температуры падает, а относительное удлинение и сужение увеличиваются, то сопротивление деформированию уменьшается, металл становится ковким. Чем выше пластичность и ниже прочность, тем большей ковкостью обладает металл.

Наилучшая пластичность стали достигается нагревом, так как она непрерывно увеличивается в интервале температур примерно от 300 до 1200°С в зависимости от содержания в стали углерода.

При нагреве стали выше температуры начала горячей обработки давлением наступает перегрев, который проявляется в резком росте аустенитных зерен и понижении пластичности. Последняя в процессе обработки может нарушить целостность заготовки. Перегрев углеродистых сталей исправляют термической обработкой (отжигом). Однако исправление некоторых сталей (например, хромоникелевой) сопряжено с большими трудностями, поэтому его следует избегать.

При нагреве стали до температур, близких к температурам начала плавления, наступает пережог, характеризующийся появлением хрупкой пленки между зернами вследствие окисления их границ. Пережженный металл теряет пластичность, становится хрупким и представляет собой неисправимый брак. Следует заметить, что на перегрев и на пережог влияют и температура, и времянахождения металла в зоне высоких температур. Следовательно, горячая обработка давлением должна осуществляться ниже температуры пережога и даже ниже зоны перегрева, т. е. в интервале температур, при которых металл имеет наивысшую пластичность и наименьшую сопротивляемость деформированию.

Горячая обработка металлов давлением в зоне установленных температур снижает сопротивление деформированию примерно в 10-15 раз по сравнению с обычным холодным состоянием. Таким образом, при обработке давлением необходимо соблюдать определенный температурный интервал, зависящий от вида и химического состава сплава. Для углеродистой стали область горячей обработки давлением приведена на рис. 9. По этой диаграмме устанавливают интервал температур обработки давлением той или иной марки углеродистой стали. Из диаграммы видно, что стали с меньшим содержанием углерода обрабатываются давлением при более высоких температурах, а стали с повышенным содержанием углерода при несколько пониженных температурах. Все примеси, входящие в сталь, ведут к понижению температур обработки давлением.

Температурный интервал обработки давлением легированных сталей характерен некоторым сужением с небольшим понижением предельных температур обработки.

Медь обрабатывается в зоне температур 900-700°C, латунь в зоне 760-600°C, бронза - в зоне 900-750°С.

Алюминиевые сплавы обрабатываются при температурах 470-380°C, а магниевые стали - в зоне 430-350°C или в зоне 400-300°C в зависимости от состава марки.

Термический режим нагрева стали перед обработкой давлением должен обеспечить: получение требуемой температуры заготовки при равномерном прогреве ее по сечению и длине, сохранение целостности заготовки, минимальное обезуглероживание поверхностного слоя и минимальный отход металла в окалину (угар).

Время нагрева металла до заданной температуры зависит от температуры рабочего пространства печи, формы сечения и размеров заготовки, физических свойств металла и способа укладки заготовок на поду печи. Круглые заготовки нагреваются быстрее, чем квадратные и прямоугольные, а заготовки, уложенные в разрядку (с интервалом), нагреваются быстрее, чем заготовки, уложенные вплотную.

Чем выше температура рабочего пространства печи, тем меньше времени затрачивается на нагрев заготовки. Разница между температурой рабочего пространства печи и требуемой температурой нагрева заготовки носит название температурного напора. Величина его при обычном нагреве составляет 100-150° С.

При скоростном нагреве температурный напор составляет 200-300°C, т. е. значительно выше величины температурного напора при обычном нагреве, а, следовательно, и температура рабочего пространства печи при скоростном нагреве будет выше температуры рабочего пространства печи по сравнению с обычным нагревом. При скоростном нагреве заготовки во избежание перегрева транспортируются через печь в течение точно установленного времени, а температура печи регулируется автоматически.

Скоростной нагрев стальных заготовок в пламенных печах протекает в 3-4 раза быстрей по сравнению с обычным нагревом. Такому нагреву подвергают заготовки из конструкционной углеродистой стали диаметром или стороной квадрата до 100 мм. Он допускает нагрев около 1 см толщины заготовки в минуту. Скоростной нагрев стали снижает угар металла до 1% вместо 3%, который имеет место при обычном нагреве, уменьшает обезуглероживание поверхностного слоя и повышает производительность печи.

При нагреве происходит неравномерное расширение металлов. Поверхностные слои, нагретые до более высоких температур, расширяются больше, чем внутренние слои. Расширение поверхностных слоев притормаживается соседними внутренними слоями, которые при этом будут растягиваться вследствие расширения наружных. В результате этого наружные слои металла при нагреве будут испытывать напряжение сжатия, а внутренние растяжения.

Напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного прогрева, называются температурными или термическими напряжениями. Эти напряжения тем больше, чем больше разность температур по сечению заготовки. Термические напряжения могут возрасти настолько, что будет нарушена целостность металла (образуются трещины). Вероятность разрушения металла будет большая у высоколегированных и легированных сталей, а также при нагреве крупных заготовок. Поэтому металл необходимо нагревать с определенной допустимой для него скоростью нагрева.

Для ориентировочного определения времени, потребного для нагревания стальных заготовок толщиной более 150 мм или слитков до температуры начала обработки давлением обычным способом в пламенных печах, может служить формула Н.Н. Доброхотова. В.Ф. Копытова:

Т = к\*K\*D

пластический деформация металл нагрев

где Т - время нагрева, ч;

к - коэффициент, зависящий от расположения заготовок на поду печи;

К - коэффициент, равный для конструкционной углеродистой и низколегированной сталей - 10, а для высокоуглеродистой и высоколегированной сталей - 20;D - диаметр или толщина заготовки ,м.

Коэффициент, а берется из таблиц. Для круглой одиночной заготовки, нагреваемой в печи, к = 1, а при нагреве круглых заготовок, уложенных на поду печи в ряд вплотную друг к другу, к = 2;для одиночных квадратных и прямоугольных заготовок, уложенных на подставках, к = 1, а уложенных вплотную непосредственно на поду печи к = 4. Если заготовки расположены на поду печи на некотором расстоянии одна от другой, то коэффициент ? будет тем меньше, чем больше расстояние между заготовками.

При нагреве крупных заготовок, для уменьшения возникающих термических напряжений, температура печи при их загрузке должна быть значительно ниже конечной температуры нагрева, особенно при нагреве особо крупных слитков из легированной стали.

При нагреве цветных металлов продолжительность нагрева заготовок зависит не только от коэффициентов теплопроводности, но и от количества тепла, воспринимаемого наружной поверхностью, т.е. от качества поверхности, характеризующего степень ее черноты.

На качество продукции при горячей обработке давлением влияет не только температурный режим нагрева и обработки давлением, но и режим охлаждения и температура окончания обработки. Быстрое охлаждение продукции способствует увеличению термических напряжений, а следовательно, образованию наружных трещин, особенно у металлов с небольшой теплопроводностью. Поэтому для каждого рода материала установлен свой режим охлаждения. В случае окончания обработки давлением при температуре, превышающей указанную ранее температуру конца обработки, и медленном охлаждении полученная продукция (поковки) из заэвтектоидной стали, будет иметь грубую цементитную сетку, а из легированной стали карбидную сетку. Детали, имеющие в структуре эту или иную из упомянутых сеток, становятся хрупкими, а термическая обработка слабо устраняет этот дефект.

3) ***Нагревательные устройства.*** Нагрев заготовок перед обработкой давлением осуществляется в пламенных и электрических печах и электронагревательных устройствах. Пламенные печи являются наиболее распространенными. В них нагревают как мелкие заготовки, так и крупные слитки весом до 300 т. Пламенные печи работают на твердом (в том числе и пылевидном), жидком и газообразном топливе. Наиболее совершенными в отношении регулирования и получения минимальных потерь от физической и химической неполноты горения являются печи, работающие на газообразном топливе, и электрические печи.

Сжигание жидкого топлива осуществляется при помощи форсунок, которые обеспечивают хорошее смешивание топлива с воздухом и его распыление. Для сжигания газообразного топлива применяют газовые горелки, которые как и форсунки обеспечивают хорошее смешивание топлива с воздухом перед сжиганием. Сжигание пылевидного топлива производят с помощью горелок, имеющих специальные устройства, в которых угольная пыль посредством шнека и воздуха подается к горелке, а последняя обеспечивает хорошее смешивание воздуха с пылью путем завихрения пылевоздушного потока. Применение твердого топлива не желательно, так как сильно загрязняется печное отделение и к тому же невозможно регулировать температуру печи. Печи, работающие на твердом топливе, громоздки, поскольку для сжигания топлива необходима специальная топка. При сжигании топлива в пылевидном состоянии необходимы значительные затраты энергии и средств на размол топлива.

Нагревательные пламенные печи по конструкции и характеру распределения температур в рабочем пространстве печи делятся на камерные, в которых температура по всему рабочему пространству одинакова, и методические, у которых температура в рабочем пространстве повышается от загрузочного окна к окну выдачи нагретых заготовок.

Высокая температура в рабочей камере печи (1400-1500° С) достигается применением высококалорийного топлива и подогретого воздуха в рекуператорах. Горелки или форсунки в этих печах располагаются как над нагреваемыми заготовками, так и под ними.

При нагреве крупных заготовок в камерных печах для облегчения их загрузки и выгрузки применяют различные загрузочные механизирующие устройства, машины или печи с выдвижным подом и со съемным сводом.

Для уменьшения отхода на окалину применяют печи с использованием нейтральных или защитных атмосфер, составляющие которых не вступают в реакцию с нагреваемым металлом.

Разновидностью камерных печей являются нагревательные колодцы, которые находят применение в прокатных цехах для нагрева слитков, часто поступающих из сталелитейных цехов в горячем состоянии. Колодцами эти печи называют потому, что слитки в них загружают сверху и устанавливают вертикально, а сами печи чаще выкладываются в земле. Использование тепла горячих (неостывших) слитков обеспечивает экономию топлива

В камерные печи обычного нагрева заготовки загружают через определенные промежутки времени (периодически) партиями. При очередной загрузке температура в рабочей камере печи понижается тем резче, чем крупнее и легированные стальные заготовки, затем температура постепенно повышается и достигает заданной.

Для нагрева концов штанг и прутков (при работе на горизонтально-ковочных машинах) применяют щелевые печи, загрузочным окнам которых придают вид щели.

Муфельные печи имеют герметически закрывающийся ящик, называемый муфелем, который загружают металлом; нагревание его осуществляется без доступа воздуха и газов. Такой способ нагрева применяют как для стали, так и для специальных сплавов в целях исключения образования окалины.

Безокислительный нагрев стальных и других заготовок, кроме муфельных печей и печей с использованием нейтральных или защитных атмосфер, производят в специальных печах барабанного типа. В барабан печи заливают расплавленное стекло слоем толщиной 100 мм. Из примыкающей подогревательной камеры в барабан печи подаются заготовки, подогретые до 600°C, где они покрываются слоем стекла, которое предохраняет заготовки от дальнейшего окисления, а если заготовка уже была окислена, то окалина растворяется в расплавленном стекле. Нагретые таким способом заготовки на поверхности имеют тонкий слой стекла, который удаляют механическим способом. Нагрев в стекле протекает без риска пережога металла.

Методические печи имеют вытянутую форму. Длина этих печей в шесть и более раз превышает ширину. Температура в таких печах понижается в направлении движения пламени к загрузочному окну. В методических печах производится непрерывная выдача нагретых заготовок, методичный (постепенный) нагрев и лучшее использование тепла, образовавшегося при сгорании топлива, газов. Чем печь длиннее, тем полнее теплоиспользование. При выходе из методической печи отходящие газы имеют более низкую температуру, чем в камерных печах, поэтому эти печи экономичнее камерных.

Рабочее пространство методических печей разделено на две различные по величине части: большую, так называемую подогревательную камеру , и меньшую - со стороны топочных устройств, называемую нагревательной камерой. Заготовки поступают вначале в подогревательную камеру и продвигаются по поду печи, постепенно нагреваясь, затем попадают в нагревательную камеру, где нагреваются до требуемой температуры. Выдача заготовок производится через окна на торце или в боковых стенках нагревательной камеры.

Продвижение заготовок по поду печи осуществляется чаще всего с помощью механического толкателя.

Переходной конструкцией от камерной печи к методической является полуметодическая печь. Длина этой печи более ширины в 4-5 раз. В ней, как и в методической печи, нагревают заготовки, форма которых удобна для продвижения через печь. Эти печи обслуживают прокатное и штамповочное оборудование высокой производительности. Такие печи иногда обеспечиваются механизмом подачи заготовок от печи к обрабатываемой машине. В этом случае заготовка по мере продвижения по поду печи достигает отверстия , проваливается в него, попадая на заслонку , которая под тяжестью заготовки или посредством пневматического цилиндра открывается, и заготовка падает на транспортер , подающий заготовки, например, к штамповочной машине.

Для нагрева заготовок применяют печи с вращающимся подом (карусельные). Печь кольцевого типа представляет собой как бы свернутую в кольцо узкую длинную методическую конвейерную печь. Эти печи позволяют в широких пределах регулировать желаемый режим нагрева металла путем изменения скорости вращения пода, расположения горелок и подачи топлива. Нагрев металла в этих печах протекает быстрее и равномернее, так как заготовки на поду печи укладываются на некотором расстоянии одна от другой. Угар металла при нагреве в этих печах меньше, чем в печах с толкателем заготовок по поду, поскольку в последних заготовки укладываются вплотную друг к другу и требуется большее время нагрева и, кроме того, при продвижении заготовок в печи сбивается окалина и происходит повторное ее образование.

Более совершенными считаются печи, использующие тепло отходящих газов, так называемые, регенеративные и рекуперативные печи.

Регенеративные печи с помощью регенераторов используют тепло отходящих газов для подогрева воздуха и газа (в газовых печах), поступающих в печь.

В рекуперативных печах осуществляют подогрев только воздуха, поступающего в печь для горения. Потоки отходящих газов и нагреваемого воздуха в рекуператорах непрерывны и осуществляются каждый по своему каналу, причем движение воздуха идет навстречу движению печных газов. Газы нагревают стенки рекуператора с одной стороны, а воздух отнимает тепло с другой.

Применение рекуператоров и регенераторов повышает к. п. д. всех печей. В методических регенеративных печах к. п. д. может быть доведен примерно до 40%, а в простых камерных печах он обычно не превышает 12%.

Электрические печи сопротивления применяют чаще всего для нагрева цветных металлов и сплавов, реже для нагрева стали, так как температурный интервал штамповки, например алюминия, находится в пределах 475-400°C, т. е. в пределах температур, постоянство которых в пламенных печах поддерживать значительно труднее, чем постоянство температур штамповки стали. В качестве электронагревателей в электропечах служат металлические нагреватели в виде ленты или проволоки, изготовленные из хромоалюминиевых или хромоникелевых сплавов, которые ввиду небольшой их стойкости применяют для температур ниже 1200° С. Для высоких температур (1300° С) применяют стержни (силитовые и глоборовые), изготовленные из карбида кремния. Нагревательные элементы чаще всего размещаются на боковых стенках печи.

В электрических печах можно поддерживать и изменять температуру с большой точностью. Рабочее пространство этих печей свободно от продуктов горения, угар металла получается минимальный. Электрические печи улучшают условия работы обслуживающего персонала.

Индукционный нагрев токами повышенной частоты (500-8000 гц) применим для заготовок диаметром от 15 до 150 мм. Нагрев заготовок диаметром 150 мм и выше производится токами промышленной частоты (50 гц). Индукционный нагрев обеспечивает высокую скорость нагрева металла по сравнению с нагревом в пламенных печах; снижает потери на окалину с 3-4% до 0,5%; устраняет обезуглероживание поверхностного слоя; создает удобство автоматизации подачи и выдачи заготовок; позволяет повысить температуру начала обработки давлением без появления перегрева и коренным образом улучшает санитарно-гигиенические условия труда обслуживающих рабочих. Расход электроэнергии при индукционном нагреве составляет 0,5 кВт. ч. на 1 кг нагретой стали. Индукционный нагрев применяют для заготовок из стали, латуни, никеля и других металлов и сплавов.

Расход электроэнергии при контактном нагреве составляет 0,3-0,4 кВт. ч на 1 кг нагретой стали. Капитальные затраты на эту установку значительно ниже стоимости индукционного электронагревательного устройства. Недостатком контактного нагрева является неполный прогрев концов заготовки (мест контакта), вследствие чего резко повышается расход на штампы; с учетом последнего, контактный нагрев является дорогим.

Контактный нагрев выгодно и удобно применять для нагревания средней части длинных тонких заготовок под штамповку, гибку и высадку.