

5.5 Закон неравномерности деформации и дополнительных напряжений.

Неравномерность деформации в процессах ОМД обуславливает неодинаковое необратимое изменение размеров отдельных элементов тела. Она приводит к возникновению дополнительных и остаточных напряжений.

Рассмотрим 2 части тела, разделенные поверхностью $m-n$, содержащие 2 элемента A и B .

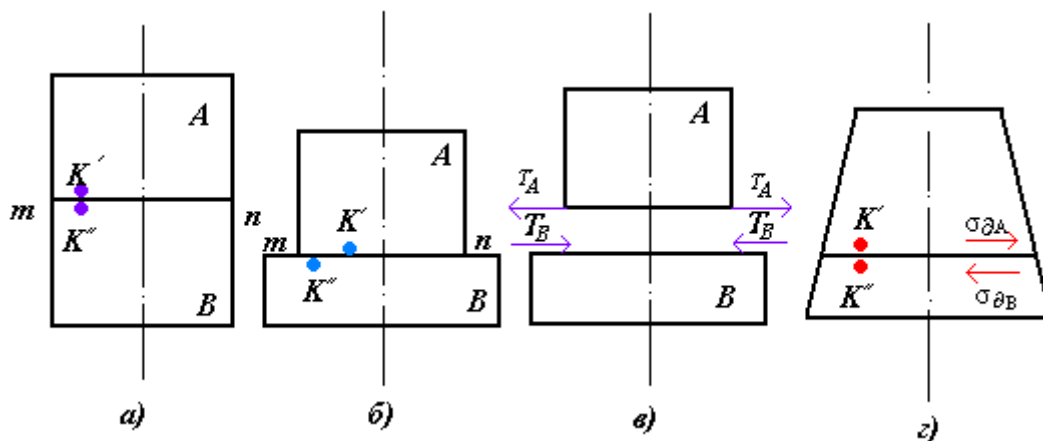


Рисунок 5.10 - Механизм возникновения дополнительных напряжений при неравномерной деформации двух элементов A и B : а) – исходное состояние; б) – деформированное состояние при наличии физического раздела между элементами A и B по поверхности $m-n$; в) – силовое воздействие элементов A и B друг на друга; г) – деформированное состояние элементов A и B , условно разделенных мнимой плоскостью $m-n$.

При обособленном изменении размеров элементов A , B , отдельные части деформированного тела приняли бы вид, приведенный на рисунке 5.10б.

Но так как при деформации соблюдается условие сплошности и однородности твердого тела, то согласно этим условиям частицы K' элемента A взаимодействуют с частицами K'' элемента B . Тогда элемент B передает элементу A и наоборот элемент A передает элементу B силы, стремящиеся увеличить, или уменьшить деформацию каждого из этих элементов (рис 5.10в).

При таких условиях частицы K' при совместной деформации, при отсутствии физического реза, получают перемещение больше, а частицы K''

получат перемещение меньше (рис. 5.10г), чем если бы элементы А и В деформировались отдельно.

Следовательно, в теле на границе элементов, деформирующихся с разной интенсивностью, возникает градиент неравномерной деформации Γ_H , приводящей к взаимно уравнивающимся внутренним напряжениям σ_{DA} и σ_{DB} (рис. 5.10г).

σ_{DA} и σ_{DB} — называются дополнительными напряжениями. Дополнительные напряжения возникают под нагрузкой и исчезают после ее снятия. Дополнительные напряжения не зависят от схемы напряженного состояния, определяемой действием внешних сил и тензором T_B — это положение характеризует *закон неравномерности деформаций и дополнительных напряжений*.

«В процессе ОМД в связи с неравномерным распределением напряжений и деформаций отдельные слои и элементы тела, стремящиеся к большому изменению размеров против среднего, передают слоям и элементам, стремящимся к меньшему изменению размеров, силы такого знака, которые увеличивают изменение размеров, а слои и элементы, стремящиеся к меньшему изменению размеров, передают слоям и элементам, стремящимся к большому изменению размеров, силы такого знака, которые уменьшают изменение размеров».

Закон неравномерности деформаций и дополнительных напряжений внутри тела объясняет возникновение дополнительных и остаточных напряжений

1.6 Дополнительные и остаточные напряжения

Дополнительные напряжения бывают первого, второго и третьего рода

Дополнительные напряжения первого рода — это макроскопические зональные напряжения, охватывающие целые области деформируемого тела и имеющие ориентацию, связанную с изменением его формы. Это

дополнительные напряжения, которые возникают при взаимодействии макроскопических элементов тела, например, А и В (рис.5.10).

Дополнительные напряжения второго рода возникают в кристаллитах или в группах кристаллитов деформируемого тела при взаимодействии микроскопических элементов K' и K'' . Они имеют преимущественную ориентацию в направлении главных деформаций.

Дополнительные напряжения третьего рода возникают при взаимодействии субмикроскопических элементов деформируемого тела (блоков мозаики, дислокаций...). Они связаны с внутренним скольжением, искажением кристаллической решетки вблизи скользящих слоев металла. Их ориентация связана с направлением кристаллографических осей зерен, т.е. с текстурой.

Остаточными называются напряжения, которые возникают из-за неравномерности пластической деформации и остаются в теле после снятия внешних сил или устранения других причин, обусловивших неравномерную пластическую деформацию. При горячей объемной штамповке с малой скоростью остаточные напряжения почти полностью снимаются благодаря рекристаллизации. При холодной пластической деформации остаточные напряжения соизмеримы с дополнительными.

Остаточные напряжения приводят к ухудшению служебных свойств изделий и резко снижают:

- коррозионную стойкость металла, приводя к местному разъеданию, порче поверхности и локальной концентрации напряжений внутри повреждений;
- ударную вязкость;
- предел выносливости;

И приводят к короблению изделий.

Вместе с напряжениями, возникающими от действия внешних сил, остаточные напряжения могут привести к разрушению тела под нагрузкой значительно большей расчетной. Разрушение может произойти даже без

приложения внешней нагрузки (например, от действия неравномерного температурного поля).

Остаточные напряжения, как и дополнительные бывают первого, второго и третьего рода. Они могут возникнуть в результате фазовых превращений при неравномерном нагреве или охлаждении.

Методом устранения остаточных напряжений является правильный режим обработки, приводящий к минимальной неравномерности деформаций и снятию дополнительных напряжений.

В процессах горячей объемной штамповки это достигается, когда неравномерную деформацию осуществляют в начальной стадии обработки.

В процессах холодной штамповки напряжения первого и второго рода снимаются при рекристаллизации или могут быть сняты обкаткой, дробеструйной обработкой, правкой на роликах, выглаживанием.

1.7 Закон подобия

Закон подобия дает возможность по испытанию модели определить необходимые параметры для осуществления процесса деформирования реальных объектов.

Если осуществлять в подобных условиях одинаковые процессы пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала, то будут реализовываться следующие условия:

- необходимые удельные усилия деформирования будут равны между собой;
- отношение полных усилий деформирования будет равно квадрату, а затрачиваемых работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров.

Подобие условий пластической деформации включает в себя 3 вида подобий: геометрическое, физическое и тепловое.

Геометрическое подобие определяется следующим – «тела считаются геометрически подобными, если имеют одинаковую форму и постоянные отношения сходных размеров». Это записывается следующими формулами

$$\frac{l_H}{l_M} = \frac{a_H}{a_M} = \frac{h_H}{h_M} = n \quad (5.4),$$

где l, a, h – длина, ширина, высота натур (н) и модели (м),

n – масштаб моделирования или константа подобия.

При этих условиях отношение поверхностей модели и натур будут равны квадрату, а объемов кубу константы подобия – n .

С увеличением n отношение площади тела к ее объёму (F/V , где F, V – поверхность и объем натур) у натур уменьшается обратно пропорционально n .

Формы рабочих частей инструмента для деформирования натур и модели должны быть геометрически подобны, а отношения их соответствующих размеров должно быть равно n .

Основным условием *физического подобия* является то, что физическое состояние, химический состав, фазовое состояние, макро- и микроструктура, а также механические свойства, модели и натур должны быть одинаковыми в исходном состоянии и в любой момент деформирования.

При физическом подобии должны выполняться условия.

Степени деформации – ε модели и натур в сравниваемые моменты должны быть одинаковыми

$$\varepsilon_M = \varepsilon_H \quad (5.5),$$

что соответствует одинаковому упрочнению и разупрочнению.

Должны быть одинаковыми условия трения между соответствующими контактными поверхностями инструмента и заготовки. При условии:

Все это должно соблюдаться, если соблюдается:

- равенство температур $t_{KM}^0 = t_{KH}^0$ – для контактных поверхностей на протяжении всего процесса деформирования;
- равенство скоростей скольжения $V_{CM} = V_{CH}$;
- равенство скоростей деформирования $V_M = V_C$.

При этом скорость деформации должны быть равны

$$\dot{\varepsilon}_M = n \dot{\varepsilon}_H, \quad (5.6),$$

а время деформирования определялось соотношением вида

$$t_M = \frac{1}{n} t_H \quad (5.7).$$

При этом должно соблюдаться идентичность трения на контактных поверхностях модели и натуры, а сами модель и натура должны быть физически подобны.

Еще одним видом подобия является *тепловое подобие*. Оно возможно при следующих условиях:

- время деформирования модели и натуры определяться соотношением

$$t_M = \frac{1}{n^2} \cdot t_H; \quad (5.8),$$

- скорость деформации модели и натуры определяться соотношением

$$\dot{\varepsilon}_M = n^2 \cdot \dot{\varepsilon}_H; \quad (5.9),$$

- скорость деформирования модели и натуры определяться соотношением

$$V_M = n \cdot V_H \quad (5.10),$$

В процессах холодной пластической деформации при условии незначительного влияния скорости деформирования на изменение температуры условия физического подобия соблюдаются при моделировании процессов.

При горячей пластической деформации, а также при деформировании с высокими скоростями возможно только приближенное физическое моделирование процессов. В этом случае возможно его выполнение либо по температурному признаку, либо по трению, либо по скорости деформации.

Погрешность моделирования процессов, когда соблюдается только одно из требований учитывается коэффициентом несоответствия- η .

Различие в скоростях деформации учитывается с помощью скоростного коэффициента $\eta_{\dot{\varepsilon}}$

$$P_H = \eta_{\dot{\varepsilon}} P_M, \quad (5.11),$$

где P_H, P_M – усилие деформирования;

Различие в условиях теплоотдачи и температуры деформирования учитываются с помощью масштабного коэффициента φ_M

$$P_H = \varphi_M P_M. \quad (5.12),$$

- Коэффициенты $\eta_{\dot{\varepsilon}}$ и φ_M определяется экспериментально и приведены в справочниках.

1.6 Контактное трение при пластическом деформировании

Большинство операций обработки давлением происходит в условиях, когда деформируемый металл контактирует с инструментом. Частицы металла скользят по контактными поверхностям, в результате чего возникает трение. Величина сил, возникающие в процессе трения, оказывает влияние на следующие параметры:

- величину деформирующей силы;
- шероховатость и поверхностные дефекты поковки;
- износ инструмента и формоизменение заготовки.

Контактное трение — это механическое взаимодействие между твердыми телами, которое возникает в местах их соприкосновения и препятствует (или стремится препятствовать) относительному перемещению тел в плоскости их соприкосновения.

Контактное трение формирует очаг формирования, обуславливает неравномерное распределение деформации по объему тела, определяет граничные условия, усилие деформирования, расход работы и мощности на проведение технологической операции.

Усилие трения и вызываемое им на контактных поверхностях касательные напряжения зависят от:

- прочности показателей металла, характеризуемых напряжением текучести – σ_s ;
- температуры деформирования -T;

- нормального к контактной поверхности напряжения - σ_n ;
- шероховатости поверхности инструмента – $R_{и}$ и деформируемого тела – $R_з$;
- скорости деформирования – v ;
- соотношения контактной и свободной поверхностей F_k / F_a ;
- характеристик смазочной пленки (вязкости и прочности), или характеристик пленок окислов на контактной поверхности – μ ;
- химического сродства металла инструмента и деформируемого тела.

Следовательно, усилие деформирования может быть определено функцией вида,

$$P = f(\sigma_s, T, \sigma_n, R_{и}, R_з, v, F_k / F_a, \Delta\mu) \quad (5.13).$$

Рассмотрим механизм взаимодействия двух элементов – заготовки и инструмента на площадках $\Delta F_з$ и $\Delta F_{и}$ при осадке заготовки на шероховатых плитах (рис. 5.11)

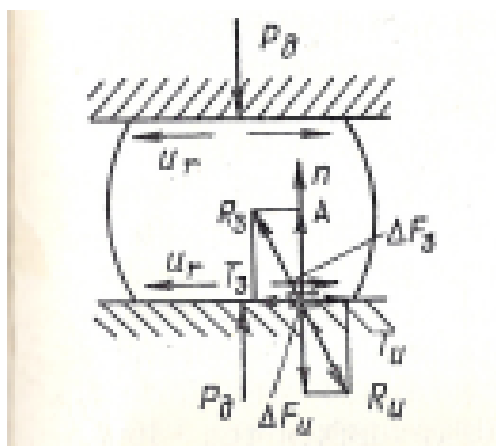


Рисунок 5.11 – Силы действующие на контактных площадках заготовки $\Delta F_з$ и инструмента $\Delta F_{и}$ при осадке

Из рисунка видно, что силы взаимодействия $R_з$ и $R_{и}$ двух элементов направлены под углом - α к нормали – n , а касательная составляющая этой силы – $T_з$ называется *силой трения*.

На контактной поверхности заготовки - $\Delta F_з$ возникает *сила трения сопротивляющегося действия* - $T_з$, которая затрудняет перемещение заготовки относительно инструмента и сильно влияет на качество детали. А на контактной поверхности инструмента - $\Delta F_{и}$ возникает *сила трения активного действия* $T_{и}$, которая стремится увлечь инструмент в направлении движения

заготовки и обуславливает износ инструмента. Такое взаимодействие называется *положением о парности сил контактного трения сопротивляющегося и активного действия*.

Сила трения, отнесенная к единице площади ΔF называется *контактным касательным напряжением*. Она определяется по формуле

$$\tau_k = \lim T/\Delta F \quad (5.14),$$

где $T/\Delta F$ - контактное касательное напряжение.

В процессах ОМД бывает 3 вида трения.

Сухое трение возникает между заготовкой и инструментом в том случае, когда их контактные поверхности не разделены каким-либо третьим телом: смазкой, окислами, воздухом (когда слой смазки значительно меньше 10^{-6} мм).

При этом контакт осуществляется по небольшой поверхности, образуемой вершинами выступов, микронеровностей заготовки, таких как ΔF_i и ΔF_{i+1} (рис. 5.12).

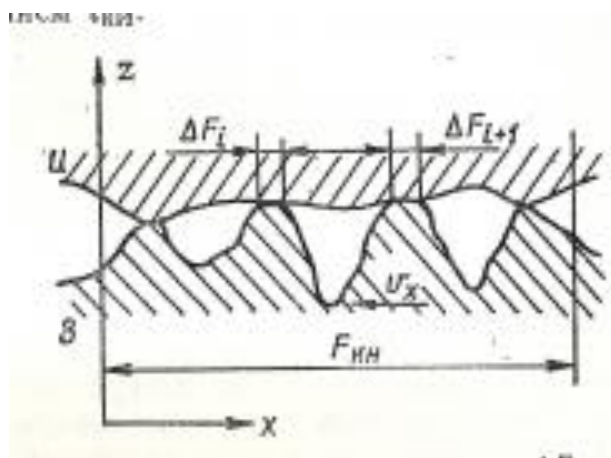


Рисунок 5.12 – Схема взаимодействия элементов поверхностей деформируемой заготовкой (З) и инструментом (И)

Поверхность контакта определяется по формуле

$$F_{кф} = \sum \Delta F_i \quad (5.15)$$

Большое давление на контактных площадках ΔF_i в сочетании с относительным перемещением и значительной местной пластической деформацией приводит к образованию *узлов схватывания*.

Гидродинамическое трение (жидкостное) возникает при холодной пластической деформации с обильной смазкой (например, при волочении

прутков и проволоки, вытяжке листового металла, холодной осадке заготовки на плоских плитах, гидропрессовании и т. д). Особенностью такого трения является то, что во всех точках контактной поверхности заготовка и инструмент разделены толстой пленкой смазки, более 10^{-4} мм.

В этом случае контактное касательное трение определяется по формуле Ньютона

$$\tau_k = \mu_c \frac{\partial v_c}{\partial n} \quad (5.16) .$$

При гидродинамическом трении τ_k на два порядка ниже, чем при сухом трении. Это приводит:

- к резкому снижению деформирующего усилия;
- повышению качества изделия;
- увеличению стойкости инструмента.

Для возникновения гидродинамического трения необходимо создать условия, способствующие образованию смазочного клина (рис. 5.13).

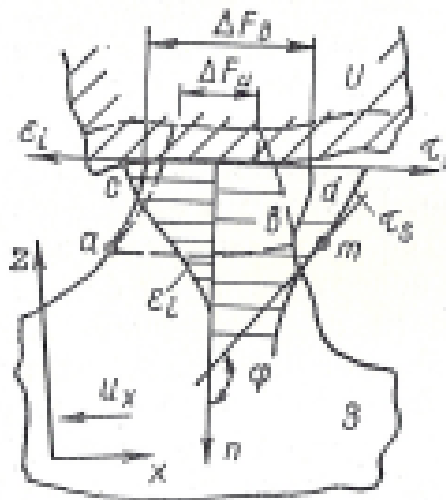


Рисунок 5.13 – Схема деформации отдельного выступа при гидродинамическом трении

В этом случае, относительное перемещение деформируемой заготовки по инструменту и вязкость смазки будут обуславливать вовлечение частиц смазки в зону деформации. При движении вязкой жидкости в смазочном канале давление повышается, что приводит к увеличению вязкости смазки.

Еще одним видом является *граничное трение*. Оно встречается чаще сухого и гидродинамического. Характеризуется тем, что поверхности инструмента и заготовки разделены тончайшим слоем смазки, менее 10^{-4} мм.

Контактное касательное трение τ_k при граничном трении на порядок больше, чем при гидродинамическом, но меньше, чем при сухом.

Причиной повышения контактного касательного трения является то, что смазочные пленки (менее 10^{-4} мм) отличаются качественно от смазки при гидродинамическом трении и неровности контактирующих поверхностей прорывая местами такую смазочную пленку образуют в этих местах узлы схватывания (см. рис. 5.12)