

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ МОНОТОННОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СБОРНОЙ ЗАГОТОВКИ

М.И. Поксеваткин, С.В. Герман, Е.М. Басова

Описаны условия монотонного течения металла при деформировании сборной заготовки и их реализация.

Ключевые слова: условие, монотонность, течение металла, сборная заготовка.

Характер протекания процесса деформирования заготовок при обработке металлов давлением определяется сочетанием оптимальных термомеханических параметров. При заполнении полости штампа посредством последовательной подачи металла в осесимметричный очаг деформации, характеризующий определенным девиатором напряжений и равенством показателей напряженного и деформированного состояний металла, необходимо установить наиболее благоприятные термомеханические и технологические параметры, обеспечивающие монотонность деформации в течение всего процесса.

Возможность получения изделий без трещин и предупреждения разрушения конструкций определяется в первую очередь способностью контролировать процесс разрушения. Вязкое разрушение связано с процессами деформации и не связано со сколом или мгновенным разрывом межзатомных связей в кристаллической решетке. Вязкое разрушение металла не исключает хрупкости конструкции в целом, так как монокристалл, например, может разрушиться сдвигом по одной плоскости скольжения, а поликристаллическая проволока – при растяжении с сужением сечения в точку. В обоих случаях разрушение вязкое, но поглощенная при этом энергия мала, так как мал объем пластически деформированного материала. Разрушение конструкции будет вязким с большими затратами энергии, если в процессе пластической деформации вовлекается значительный объем металла. В этом отношении важна способность металла к деформационному упрочнению, которое обуславливает уменьшение градиента деформации и, следовательно, увеличение объема деформируемого металла.

Физическая причина вязкого разрушения без разрыва межзатомных связей заключается в трудности сохранения совместности деформаций вблизи тех участков структуры, которые либо прочнее окружающей матрицы, либо хрупки, либо слабо связаны с матрицей,

либо представляют собой пустоты (уже существующие поры). Это приводит к образованию полостей, так что зарождение разрушения в этих условиях не является контролирующим звеном процесса. Рост полостей происходит также путем пластической деформации, и процесс разрушения, таким образом, носит характер нарастающего повреждения. По мере накопления пластической деформации полосы растут внутри металла, увеличиваясь в размерах от сотен ангстрем до десятых долей миллиметра и вызывая структурные изменения, которые в действительности являются повреждением [1].

Для получения качественных составных изделий пластическим деформированием предварительно собранной неразъемной заготовки 1 (рисунок 1) необходимо установить рациональные термомеханические параметры процесса формообразования, обеспечивающие монотонность кинематики течения металла в очаге деформации. В противном случае возможно взаимное смещение микроразделов металла по контактным поверхностям а, б и с неразъемного соединения элементарных заготовок 2 и 3, полученного кузнечнопрессовой сваркой (рисунок 1).

В общем виде математическая связь термомеханических параметров деформируемого металла может быть представлена выражением

$$\sigma_{bt} = f(\varepsilon; \xi; t^{\circ}, C; \tau), \quad (1)$$

где σ_{bt} – сопротивление деформации металла при температуре штамповки (t° , С), МПа;

ε и ξ – соответственно степень и скорость деформации;

τ – время протекания процесса, с.

Направленное распределение волокон макроструктуры в поковке может существенно улучшить комплекс механических свойств получаемых деталей. Известно, что перерезание волокон и их выход под углом к рабочей поверхности деталей снижает срок службы изделия. С другой стороны, увеличение концентрации волокон в одном месте, осо-

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ МОНОТОННОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СБОРНОЙ ЗАГОТОВКИ

бенно в зоне максимальных напряжений, тоже оказывает негативное влияние на механические свойства детали.

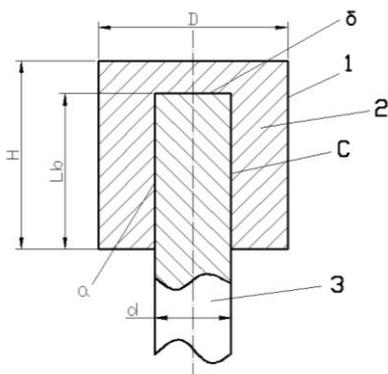


Рисунок 1 – Сборная неразъемная заготовка (1), состоящая из элементарных заготовок: головной (2) и стержневой (3)

Таким образом, благоприятное распределение волокон макроструктуры по сечению детали, возможное только при монотонном течении металла, играет значительную роль в повышении работоспособности и надежности изделия [2].

С положением о монотонности протекания процесса пластической деформации связано представление об оптимальном формоизменении металла.

Условия монотонного протекания процесса деформации сформулированы Г.А. Смирновым-Аляевым [3]:

1 – совпадение главных осей скоростей деформации с одними и теми же материальными частицами волокон металла;

2 – неизменность за весь процесс вида малой деформации при переходе из предшествующей стадии в текущую.

В этом случае, если известны направления главных осей напряженного состояния, то можно установить непосредственно связь напряжений с компонентами результирующей (логарифмической) деформации.

При определении условий монотонности протекания процесса деформации параметр напряженного состояния выражают коэффициентом Лоде (μ_σ) [4]:

$$\mu_\sigma = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1, \quad (2)$$

где σ_1 , σ_2 и σ_3 – главные напряжения, действующие в данной точке деформируемого материала.

А параметр деформированного состояния (μ_ϵ) определяют по соотношению:

$$\mu_\epsilon = 2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_3} - 1, \quad (3)$$

где ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 – компоненты результирующей деформации по главным осям очага деформации.

В случае выполнения условия монотонности кинематики течения металла при формообразовании изделия из сборной заготовки (рисунок 1) материальные точки a_i (элементарные объемы волокон металла), расположенные в данный момент деформации на прямой, перпендикулярной меридиальному сечению осесимметричного очага деформации, должны располагаться на этой прямой и в предшествующие и в последующие моменты времени независимо от их местоположения в сечениях стержневой или головной заготовок, а материальные точки b_i , расположенные на произвольных нормалях к свободной поверхности очага деформации (в стадии распрессовки), также должны находиться на этих нормалях и в другие моменты времени в любой точке удаления от продольной оси деформации (рисунок 2).

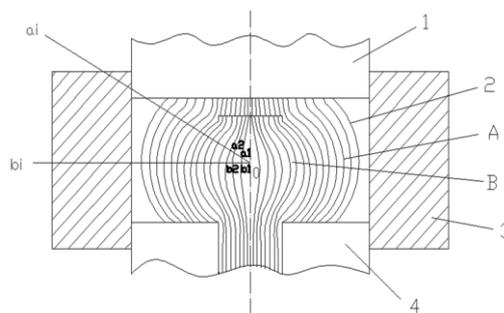


Рисунок 2 – Схема течения металла при деформировании сборной заготовки: 1 – пуансон; 2 – сборная заготовка; 3 – матрица; 4 – выталкиватель; А – головная заготовка; В – стержневая заготовка

Кроме того, отношения расстояний между материальными точками волокнистой структуры очага деформации на любой нормали должны быть равны, т.е.:

$$z = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \frac{a_{i-1}}{a_i} = const. \quad (4)$$

В этом случае параметр z может служить показателем монотонности течения металла в очаге деформации, характеризуемым определенным девиатором напряжений, видами напряженного (μ_σ) и деформированного (μ_ϵ) состояний металла сборной заготовки.

Важнейшими критериями обеспечения монотонности процесса деформации являются продольная устойчивость сборной заготовки (отношение ее высоты (H) к диаметру (D) должно удовлетворять условию $H/D \leq 2,5$ (рисунок 1)) и равенство сопротивлений деформации металла головной заготовки (σ_2) и

участка стержневой заготовки (σ_c), внедренной в головную заготовку, т. е.

$$\sigma_2 = \sigma_c. \quad (5)$$

Согласно выражению (1) напряжение течения металла в очаге деформации зависит от степени (ϵ) и скорости (ξ) деформации, также от температуры деформируемого металла (t° , С) в различные моменты времени (τ).

Если сборная заготовка состоит из однородных металлов, то для удовлетворения условия (5) достаточно равенства температур нагрева элементарных заготовок, иначе следует учитывать температурную зависимость сопротивления деформации различных материалов.

Согласно закону Курнакову Н.С. температурную зависимость сопротивления деформации (σ_{bt}) описывают показательной функцией [5]:

$$\sigma_{bt} = \sigma_{bt_H} \cdot e^{\alpha(t_H - t)}, \quad (6)$$

где σ_{bt} , σ_{bt_H} – сопротивления деформации (предел прочности) металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, МПа;

α – температурный коэффициент; для одно-и монофазных систем $\alpha=0,0085$, для твердых сплавов $\alpha=0,008 \div 0,012$;

t и t_H – температура металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, $^\circ\text{C}$.

Формулу (6) обычно выражают уравнением (7):

$$\sigma_{bt} = \sigma_{bt_H} \cdot e^m = \sigma_{bt_H} \cdot \left(1 + m + \frac{m^2}{2}\right), \quad (7)$$

где $m = \alpha(t_H - t)$.

Однако более точные результаты расчетов можно получить, если соотношение термомеханических параметров (7) аппроксимировать параболической зависимостью:

$$\sigma_{bt} = \sigma_{bt_H} \left(1 + \frac{m}{3}\right)^2. \quad (8)$$

С использованием зависимости (8) и термомеханических свойств стали рассчитывают термомеханический режим деформирования неразъемной сборной заготовки, удовлетворяющей условию (5), а значит, в первом приближении и условию монотонности течения металла в очаге деформации. На основе металлографических исследований структуры деформированных сборных заготовок определяют показатель z (условие (4)) и качество соединения элементарных заготовок по контактными поверхностям.

На основе равенства сопротивления деформации металла стержневой заготовки, поступающего в полость штампа последовательно, и усредненного напряжения течения металла в очаге деформации, можно осуществлять управление монотонным процессом

заполнения полости штампа. Математическая модель процесса реализована алгоритмом [6, 7] и позволяет посредством управления термомеханическими параметрами получать соединения высокого качества.

Эксплуатационные параметры полученных изделий оценивают механическими испытаниями на разрыв, ударную вязкость и усталостную прочность.

ВЫВОД

Спроектирована принципиальная модель реализации монотонного течения металла при формообразовании изделий из сборных заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бэкофен, В. Процессы деформации [Текст] / В. Бэкофен. – Массачусетс, Калифорния, 1972. Пер. с англ. М., «Металлургия», 1977. – 288 с.
2. Дунаев, К. Ю. Совершенствование технологии и оборудования закрытой штамповки стержневых изделий с целью повышения эффективности процесса [Текст] / дис... канд. техн. наук: 05.02.09: защищена 24.06.14: утв. 10.11.14 / Дунаев Константин Юрьевич. – Барнаул, 2014. – 136 с.
3. Смирнов-Аляев, Г. А. Механические основы пластической обработки металлов [Текст] / Г. А. Смирнов-Аляев. – М.: Машиностроение, 1968. – 272 с.
4. Колмогоров, В. Л. Напряжения, деформации, разрушения [Текст] / В. Л. Колмогоров. – М.: Metallurgia, 1979. – 231 с.
5. Губкин, С. И. Пластическая деформация металлов Т.2. [Текст] / С. И. Губкин. – М.: Metallurgia, 1960. – 416 с.
6. Поксеваткин, М. И. Алгоритмизация монотонного процесса закрытой штамповки стержневых поковок из длиномерных заготовок / М. И. Поксеваткин, К. Ю. Дунаев // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4. – С. 85–86.
7. Герман, С. В. Алгоритмизация термомеханических параметров процесса сборки составных поковок / С. В. Герман, Е. М. Басова, М. И. Поксеваткин // Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции: Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск. – 2014. – С. 141–145.

Поксеваткин Михаил Иванович – к.т.н., профессор кафедры МТuO, АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Герман Светлана Викторовна – аспирант кафедры МТuO, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, aspirant007@list.ru.

Басова Елена Михайловна – аспирант кафедры МТuO, АлтГТУ им. И.И. Ползунова.