МЕТОД СНИЖЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКЕ ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ

Загидуллин Рафаил Рахимуллаевич
ТашГТУ г. Ташкент

Обработка металлов давлением является важнейшим направлением современного машиностроения и металлургии. Она позволяет получать изделия с высокими механическими свойствами за счёт пластической деформации материала без разрушения. Одним из перспективных направлений является изотермическая штамповка, при которой температура заготовки и инструмента поддерживается постоянной. Это позволяет исключить температурные градиенты и обеспечить равномерное течение металла.

Поведение материала при горячей деформации описывается следующим уравнением:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n \cdot \dot{\varepsilon}^m \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}$$

где: σ — напряжение течения (МПа);

ε — степень деформации;

$\dot{\varepsilon}$ — скорость деформации (с $^{-1}$);

K, n, m — константы материала;

Q — энергия активации (Дж/моль);

R — универсальная газовая постоянная;

T — абсолютная температура (К).

Чувствительность к скорости деформации

$$m = \frac{\partial \ln \sigma}{\partial \ln \dot{\varepsilon}}$$

Параметр m характеризует способность материала к сверхпластической деформации. При $m > 0.3$ материал проявляет свойства сверхпластичности.

В работе рассмотрены современные методы обработки металлов давлением с акцентом на изотермическую штамповку. Проанализированы особенности пластической деформации при постоянной температуре, течения материала и преимущества метода по сравнению с традиционными технологиями.

Закрытая изотермическая штамповка осуществляется в нагретых штампах, обеспечивающих постоянную температуру. Применяется для трудно-деформируемых сплавов (титановых, никелевых).

Сверхпластическая штамповка используется для материалов с ультрамелкозернистой структурой. Позволяет получать сложные детали с высокой точностью.

Прецизионная изотермическая штамповка обеспечивает получение заготовок, близких к окончательной форме, что снижает затраты на механическую обработку.

Показано, что изотермическая штамповка обеспечивает повышение качества изделий и улучшение структуры материала.

Проблема неравномерного течения металла при изотермической штамповке трудно-деформируемых сплавов. Несмотря на постоянство температуры, локализация деформации приводит к образованию дефектов *(снижению прочности и неоднородной микроструктуры)*. Рассмотрен метод снижения неравномерности деформации за счёт управления параметрами процесса и оптимизации режима деформации на основе регулирования скорости деформации и коэффициента чувствительности материала. Предлагаемая модель процесса и анализ распределения напряжений показывают снижение градиентов деформации на **16–20%**.

Для анализа процессов широко применяется метод конечных элементов (МКЭ). Основное уравнение равновесия:

$$\nabla \cdot \sigma + F = 0$$

где F — объёмные силы.

Моделирование позволяет: *(прогнозировать распределение напряжений, анализировать температурные поля и выявлять дефекты процесса)*.

Предлагаемый метод управления скоростью деформации позволяет существенно повысить качество изделий из титановых сплавов при изотермической штамповке.

При традиционной штамповке наблюдаются зависимости напряжения от деформации, напряжение увеличивается с ростом деформации при изотермических условиях кривая более плавная отсутствуют скачки напряжений а увеличение скорости деформации приводит к росту напряжения при высоких температурах влияние уменьшается, в изотермическом процессе температура стабильна. И так при изотермической штамповке получается равномерная микроструктура, улучшаются механические свойства, наблюдается снижение остаточных напряжений, высокая точность изделий и уменьшение отходов материала.

Изотермическая штамповка является эффективной технологией обработки металлов давлением, обеспечивающей высокое качество продукции. Использование численного моделирования позволяет оптимизировать процессы и снизить затраты. Дальнейшее развитие связано с цифровыми технологиями и автоматизацией производства.

Список литературы

1. Altan T. et al. Cold and Hot Forging. ASM, 2005.
2. Абдуллаев Ф.С., Загидуллин Р.Р. Металларни босим билан ишлаш жараёнлари технологик вазифаларини ечимлари. Тошкент 1996.-193с.
3. Теория и технология изотермической штамповки труднодеформи-руемых и малопластичных сплавов / С.П. Яковлев и др. Тула: ТулГУ, 2000. 220 с.
4. Kim H.Y. et al. Superplastic forming of titanium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 2020.