

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ**

**Белявин К.Е., Шукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Разработана компьютерная программа расчета напряженно-деформированного состояния конструкционной углеродистой качественной стали при пластических деформациях. Разработанная программа включает, как минимум, три основных раздела: 1 – расчет напряженно-деформированного состояния в процессах обработки металлов давлением; 2 – расчет параметров технологии и проверку закономерностей пластического течения металла и феноменологической деформационной теории разрушения; 3 – расчет параметров структуры металла. В итоге компьютерная программа в целом должна содержать полную информацию о пластическом течении металла в ходе деформации. Это информация о тензоре, девиаторе и инвариантах напряжений, деформаций, скоростей деформаций, накопленных деформациях в любой момент времени и в любой точке очага деформации [1]. Так же необходима информация о геометрии очага деформации и контактных поверхностях в любой момент времени, нормальных и касательных напряжениях на контакте. Необходима информация о скоростях движения и траекториях перемещения материальных частиц металла в очаге деформации и жестких областях образца. Так же необходима информация о температурах материальных частиц металла в любой точке образца и в любой момент времени с учетом генерирования тепла при деформации, теплопередачи тепла в инструмент и окружающую среду [2, 3].

Полученная информация анализируется с целью определения областей в очаге деформации, в которых возможно разрушение металлов при полном исчерпании их пластических свойств или расчета в этих проблемных областях ресурса пластичности, в случае, когда пластические свойства металла не исчерпаны полностью. С учетом того, что пластические свойства металлов хорошо описываются вероятностным законом нормального распределения Гаусса, вместе с ресурсом пластичности определяется и вероятность разрушения. Программа также проверяет выполнение всех известных условий пластического течения: это условие пластичности, условие несжимаемости металла, условие упрочнения металла от накопленных деформаций, нелинейность накопления деформаций, условие увеличения предельных деформаций в зависимости от вида деформации, условие суммирования повреждаемости металла, эффект Баушингера при знакопеременном деформировании,

условие равновесия, закономерность подобия и коаксиальности девиаторов напряжения и скоростей пластической деформации.

Известно, что дислокации в металле могут быть двух видов: краевые и винтовые; возможно также их совместное присутствие в металле, и в этом случае их определяют как дислокации смешанного типа. Количественно дислокации, вне зависимости от вида, определяются плотностью дислокаций – суммарной длиной всех дислокаций в кубическом сантиметре материала. В исходном состоянии в металле всегда есть некоторая плотность дислокаций, которая увеличивается при деформации материала с ростом накопленных деформаций. Увеличение плотности дислокаций возможно также в ходе термообработки металла. В процессе же отжига металла при температуре свыше 0,5 температуры его плавления и длительной выдержки плотность дислокаций снижается. Отмечено снижение роста плотности дислокаций при знакопеременном деформировании (эффект Баушингера), под действием импульсного тока исключительно в процессе деформации, а также в случае изменения фазового состава материала при деформации.

Разработанная компьютерная программа позволяет определять условную плотность дислокаций  $U_{\text{УСЛ}}$ , которая соотносится с реальной плотностью дислокаций  $U$  посредством нормирующего коэффициента  $K$ :

$$K = \Delta U_{\text{УСЛ}} / (3 \cdot U) \text{ } ^\circ \cdot \text{см}^3,$$

где  $\Delta U_{\text{УСЛ}}$  – прирост условной плотности дислокаций.

В результате проведенных исследований установлены следующие закономерности: плотность дислокаций может служить мерой ресурса пластичности или повреждаемости металла при его деформировании без нагрева. Для горячих процессов обработки металлов давлением этой мерой может служить прирост плотности дислокаций от накопленных деформаций, то есть без учета роста плотности дислокаций от термического воздействия.

1. Абрамов, А.А. Использование пакета LS-DYNA для компьютерного моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / А.А. Абрамов, Г.В. Кожевникова // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2011. – № 2. – С. 41–50.

2. Kozhevnikova, G. Cross-wedge rolling / G. Kozhevnikova. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 132 с.

3. Абрамов, А.А. Программные средства автоматизации подготовки данных для компьютерного моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки// Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 458–466.