

СЕРЕДА Б.П., докт. техн. наук, проф., ЗГИА, Запорожье
КОВАЛЕНКО А.К., ассистент, ЗГИА, Запорожье
БЕЛОКОНЬ Ю.А., канд. техн. наук, доц., ЗГИА, Запорожье
БАБАЧЕНКО Е.В., аспирант, ЗГИА, Запорожье

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОМПЛЕКСНУЮ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ОЦЕНКУ ИССЛЕДУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ

На основе решения конечно-элементной задачи в рамках выделенных элементарных объемов, полученных путем разбиения очага деформации по его ширине и длине, получили развитие математические модели напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке относительно толстых заготовок на обжимных станах.

На основі вирішення кінцево-елементної задачі в рамках виділених елементарних об'ємів, отриманих шляхом розбивки осередку деформації по його ширині й довжині, одержали розвиток математичні моделі напружено-деформованого стану металу при гарячій прокатці товстих заготовок на обтискних станах.

Based on the solution of finite-element problem within the bounds of dedicated primary volumes received by partitioning the deformation site by its width and length, the development of mathematical model of metal deformation mode by hot rolling of high bars on rolling mill was found.

В настоящее время область применения метода конечных элементов очень обширна и охватывает все физические задачи, которые могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Наиболее важным преимуществом метода конечных элементов, благодаря которому он широко используется, является то, что свойства материалов смежных элементов не должны быть обязательно одинаковыми [1].

Сопоставление методик для расчета энергосиловых параметров процесса горячей прокатки относительно толстых заготовок, и, в частности, коэффициента напряженного состояния, свидетельствует о возможности применения метода конечных элементов, а, применительно к данному случаю, и использования конечно-элементного пакета Abaqus для проведения многоцелевого инженерного анализа [2].

Постановка и решение задачи моделирования выполнялись в соответствии с принятым допущением о возможности разбиения процесса прокатки на процесс осадки валками заготовки и непосредственно прокатки при помощи придания вращательного движения валкам. В качестве исходный параметров построения модели были заданы геометрические параметры профиля валка с последующим вращением вокруг оси для создания объёмной модели, а также задан профиль прокатываемой относительно толстой заготовки с дальнейшей вытяжкой профиля на заданную длину. При этом сами валки моделировались как абсолютно жёсткие аналитические поверхности (analytical rigid), а прокатываемая заготовка – восьмиузловыми твердотельными элементами с деформацией и редуцированной схемой интегрирования. Расчёт вёлся с использованием ABAQUS/Explicit –

модуля анализа сильно нелинейных переходных динамических процессов, который использует явную схему интегрирования метода конечных элементов. На валки для первого шага осадки накладывались ограничения степеней свободы с возможностью лишь обеспечения непосредственно осадки. Затем возможность линейного перемещения запрещалась, но разрешалась возможность свободного вращения вдоль оси валков. Вращение задавалось приданием заданной скорости для недеформируемого элемента в точке (reference point). Материал заготовки моделировался при помощи задаваемых параметров: модуля упругости первого рода, плотности и параметров пластической деформации. При решении задачи пренебрегали динамическими явлениями захвата металла валками, что существенно снизило время расчета.

Результатами математического моделирования являются изменение гидростатического напряжения, распределение нормальных и касательных напряжений, а также деформаций растяжения и сдвига по всему объему заготовки. По этим данным выполняется расчет интенсивности деформаций и нормальных напряжений осевой и угловой зоны, центра боковых и контактных граней – точки 1–4 (см. рис 1). Исходя из значений интенсивности деформаций, полученных в относительных единицах, делался расчет степени деформации сдвига и степень использования запаса пластичности.

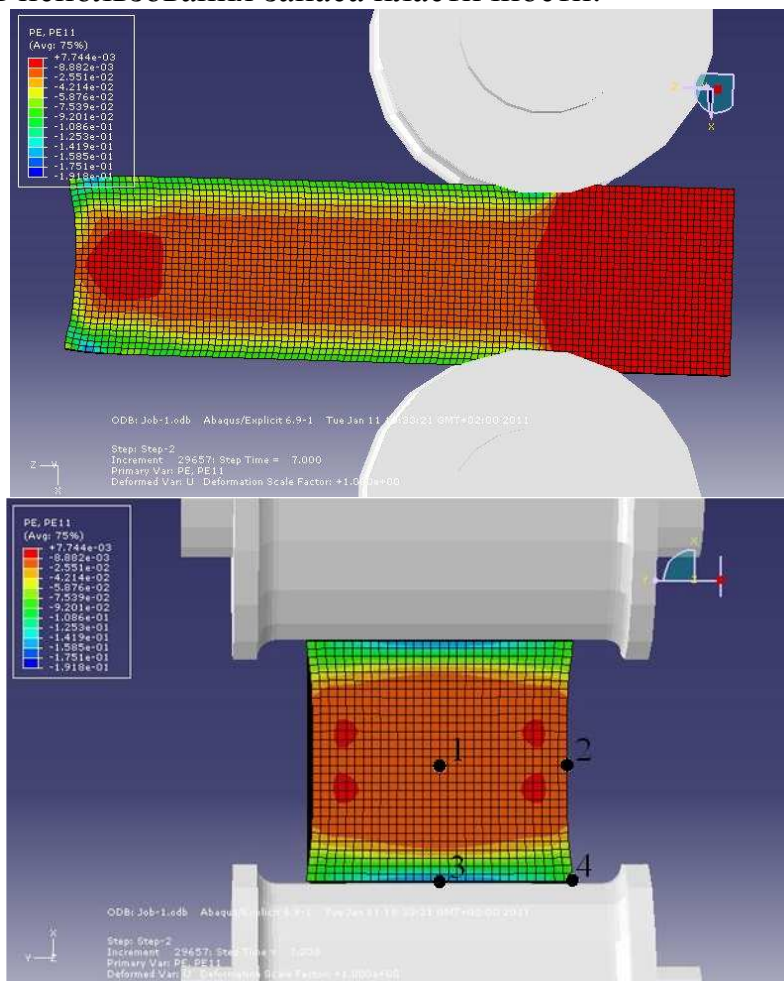


Рис. 1. Расчетное распределение линейной деформации ϵ_x при прокатке относительно толстых заготовок: $h_0 = 520\text{мм}$; $h_1 = 470\text{мм}$; $R = 450\text{мм}$; $f = 0,35$; $t = 1150^\circ\text{C}$; сталь 12X18H10T

При расчете значений степени использования запаса пластичности для условий горячей прокатки относительно толстых заготовок из малопластичной стали 12X18H10T использовали данные о предельной пластичности металла, которые были графически отображены М. В. Березиным (рис. 2, а) [3]. При помощи пакета прикладных программ для решения задач технических вычислений аппроксимируем полученные кривые поверхностью (см. рис. 2, б), которая задана следующим уравнением:

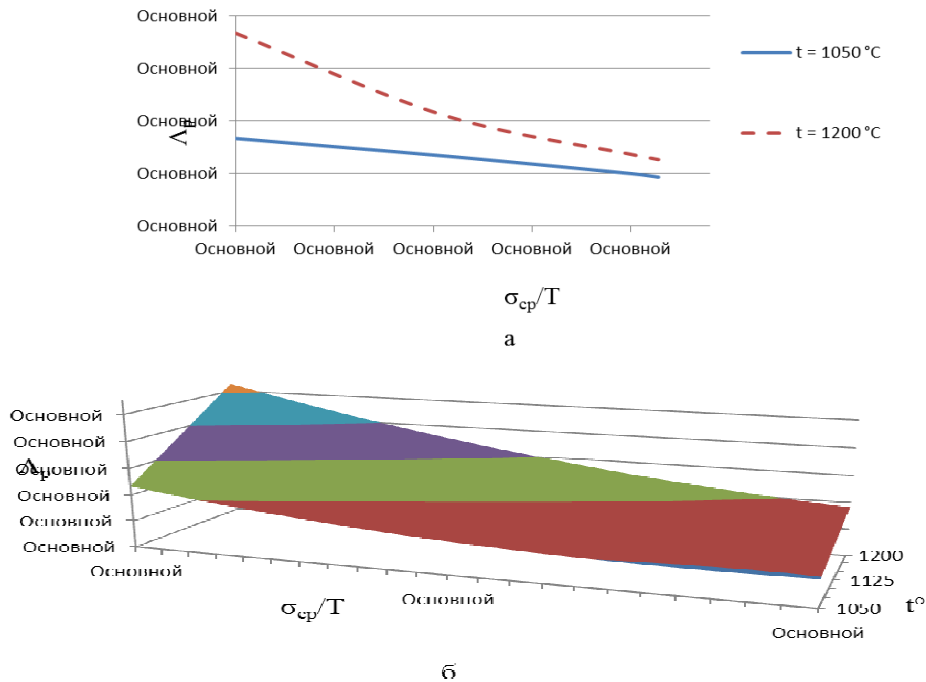


Рис. 2. Зависимость предельной степени деформации образцов литой стали 12X18H10T от коэффициента жесткости схемы напряженного состояния, и температуры: а – данные, полученные М. В. Березиным [3], б – данные, аппроксимированные автором

$$\Lambda_p = -36,58 + 0,41t + 21,51\sigma_{cp} / T - 0,026t \cdot \sigma_{cp} / T + 5,24(\sigma_{cp} / T)^2, \quad (1)$$

где $T = \sigma_i / \sqrt{3}$ - интенсивность касательных напряжений, МПа; $\sigma_{cp} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$ - гидростатическое напряжение, МПа;

t – температура деформирования.

Из вышеизложенного следует вывод о том, что для определения степеней деформации сдвига и запаса пластичности в любой точке по всему объему заготовки использование конечно-элементный пакета Abaqus реально и целесообразно.

Список литературы: 1. Теоретичні основи обробки металів тиском : Монографія : У 2т. / Б. М. Люкович, А. П. Огурцов, М. Є. Нехаєв, С. В. Єршов. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002, – Т.2. – 485 с. 2. Belytschko T. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures / T. Belytschko, W. K. Lin, B. Moran, 2001. – 668р. 3. Березин А. В. Влияние повреждений на деформационные и прочностные характеристики твердых тел / А. В. Березин – М. : Наука. – 1990. – 134 с. 4. Kataoka K. Process Computer System of Chiba Slubbing Mill and its Operation / K. Kataoka, K. Katayama, T. Nukui // Kawasaki Steel Technical Report. – 1978. – vol. 10. – №2–3. – p.200–209.