

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КЛИНА В ПОЛУБЕСКОНЕЧНУЮ ПЛАСТИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Губанова Н.В., Юсупов В.С., Камалетдинов И.Ш.
Россия, ИМЕТ РАН

В данной работе исследуется геликоидальная профилировка поверхности бочки валка предложенная в ИМЕТ, суть которой состоит в создании на теле валка выступов и впадин, направленных по спирали. Технологический процесс с таким своеобразным очагом деформации, каким он является при прокатке в геликоидальных валках, приводит к необходимости всестороннего изучения напряженно-деформированного состояния.

Первым приближением к решению столь комплексной проблемы является задача стационарного внедрения клина, которая, во-первых, позволит найти оптимальную форму клина спирали проектируемого геликоидального валка, во-вторых, способствует изучению деформаций возникающих при прокатке в таких валках.

В настоящее время распространенными методами научного исследования процессов ОМД являются методы конечно-элементного моделирования, реализуемые за счет современных программных продуктов, которые с достаточной точностью отражают реальные процессы.

В данной работе исследовали характер изменения интенсивностей деформаций и напряжений, а также усилий и полной энергии при внедрении клина со скругленной вершиной в полубесконечную пластическую среду в зависимости от радиуса скругления вершины и скорости внедрения. В качестве модельного материала образца взят алюминиевый сплав АД. Глубина проникновения клина принята одинаковой для всех радиусов вершины клина и равна 2,5мм.

Моделирование производилось в программе DEFORM – 3D.

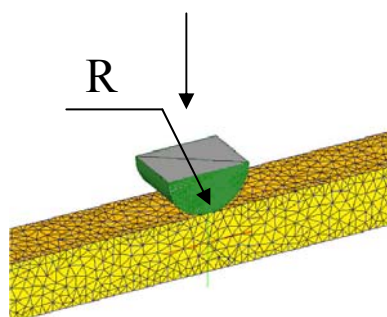


Рис.1. Конечно-элементная модель задачи внедрения скругленного клина в полубесконечную пластическую среду.

В ходе моделирования были исследованы три радиуса клина: 3мм, 5 и 7мм; при скорости внедрения равных 0,0334мм/с, 0,0834мм/с, 0,1667 и 0,3мм/с, что соответствует диапазону скоростей внедрения валков.

В предлагаемой модели образец был принят изотропным. Численные расчеты производились из условия текучести Мизеса. Интенсивность деформаций (Effective Strain), определяли по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} (\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}), \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - главные деформации;

а интенсивность напряжений (Effective Stress) для максимального значения интенсивности деформаций по формуле:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}), \quad (2)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные нормальные напряжения;

усилие внедрения клина (Load-Y) - сила, действующая вдоль оси Y, суммированная по всем конечным элементам образца, участвующим в контакте с клином.
 Основные результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты конечно-элементного моделирования задачи внедрения клина в полубесконечную среду

Радиус клина, мм	Интенсивность деформаций (max), мм/мм	Интенсивность напряжений, МПа	Усилие внедрения клина (max), Н	Полная энергия (max), Н*мм
Скорость внедрения клина 0,0334 мм/с				
R=3	3,75	124	10300	17000
R=5	1,03	118	13300	23700
R=7	0,798	110	15800	27600
Скорость внедрения клина 0,0834 мм/с				
R=3	3,74	125	10300	17300
R=5	1,04	118	13300	23700
R=7	0,799	110	15900	27700
Скорость внедрения клина 0,1667 мм/с				
R=3	3,84	124	10500	17200
R=5	1,03	118	13300	24000
R=7	0,796	110	15900	27900
Скорость внедрения клина 0,3 мм/с				
R=3	3,82	125	10400	17200
R=5	1,03	119	13400	23900
R=7	0,79	110	15900	27700

Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что существенное влияние на интенсивность деформаций и напряжений оказывает радиус клина. Причем интенсивность деформаций и напряжений практически не зависит от скорости внедрения клина в диапазоне исследуемых скоростей. При этом усилие внедрения клина и полная энергия по мере увеличения радиуса скругления вершины клина увеличивается.
 На рис.2 представлено изменение интенсивности деформаций во времени для всех исследуемых радиусов клина при скорости внедрения $V = 0,0334$ мм/с.

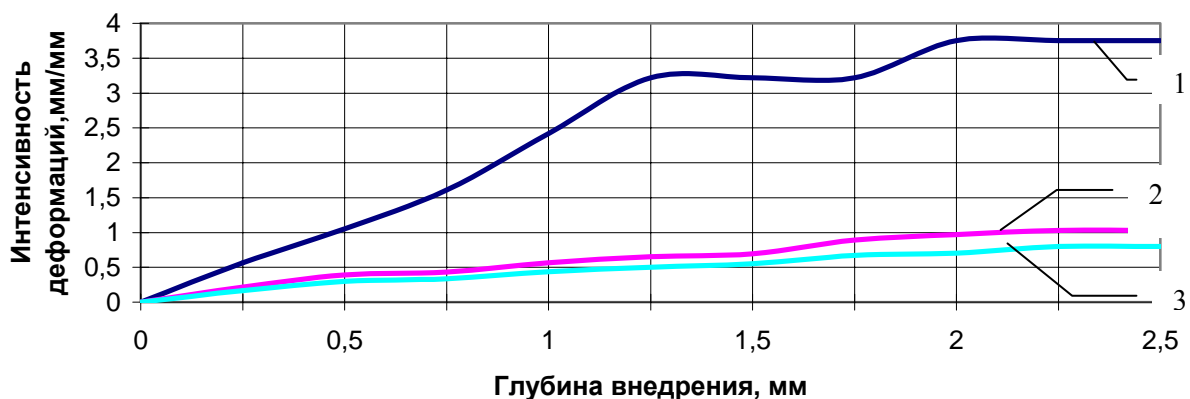


Рис.2.Изменение величины интенсивности деформаций в зависимости от глубины внедрения клина с радиусами скругления: 1-3мм; 2-5мм; 3-7мм

Как видно из рис.2 наиболее резкое изменение величины интенсивности деформаций во времени наблюдается для радиуса клина 3 мм (рис.2). Это объясняется повышенным образованием наплывов (рис.3.а). Так же следует отметить, что при изменении радиуса клина с 3 мм до 5 мм происходит уменьшение интенсивности деформаций на 65%, в то время как при сравнении радиусов клина 5 мм и 7 мм уменьшение интенсивности деформаций уже составило 25%. Что связано с увеличением поля деформации (рис.3.а-с). Под полем деформации понимается изменение площади контакта по мере внедрения клина.

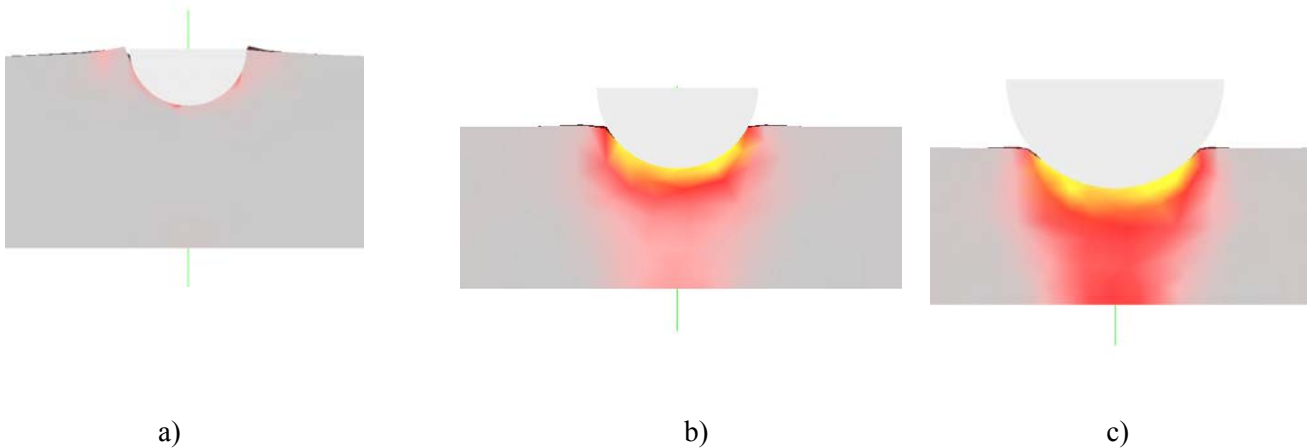


Рис.3. Поле распределения деформаций для:
а) $R=3\text{ мм}$, б) $R=5\text{ мм}$, в) $R=7\text{ мм}$

При исследовании характера образования наплывов и поля распределения деформаций (рис.3.а-с) выявлено, что, величина наплывов уменьшается с увеличением радиуса вершины клина, при этом поле распределения деформации увеличивается.

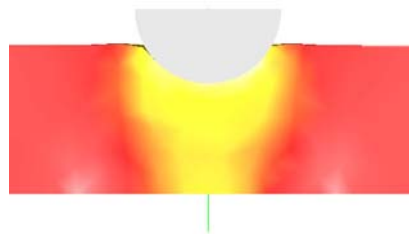


Рис.4. Поле распределения напряжений для $R=5\text{ мм}$

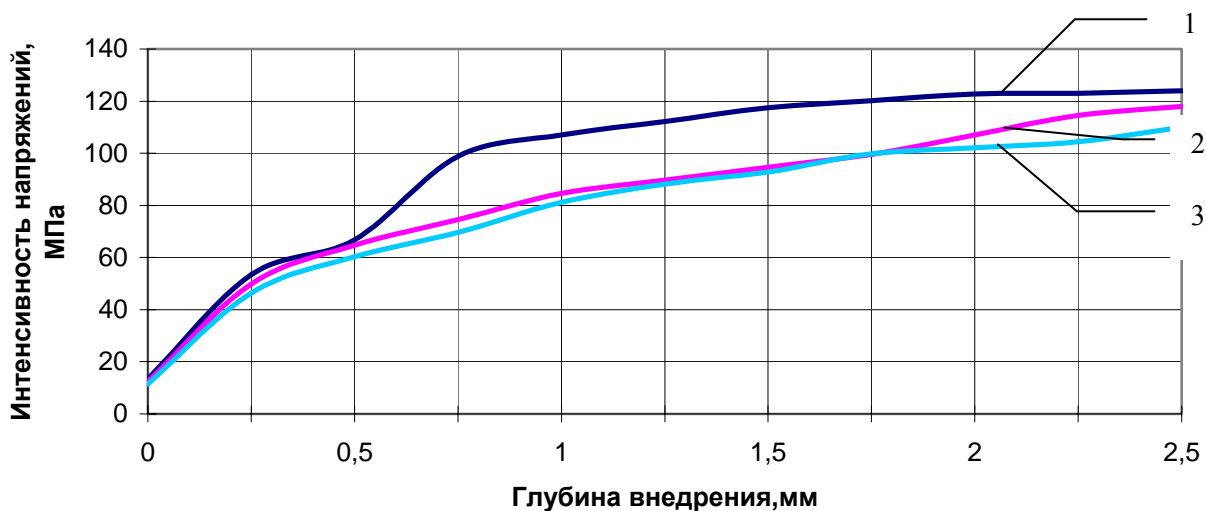


Рис.5. Изменение величины интенсивности напряжений от глубины внедрения клина с радиусами скругления: 1-3мм; 2-5мм; 3-7мм

Графическое исследование напряженного состояния позволяет говорить о тенденции увеличения интенсивности напряжений по мере уменьшения радиуса клина (рис.5). При этом величина этого изменения составляет 4-7%.

Выводы:

1. Выявлено, что с увеличением радиуса клина интенсивность деформаций и напряжений уменьшается, а усилие внедрения клина и полная энергия увеличиваются.
2. Установлено что, в диапазоне исследуемых скоростей интенсивность напряжений и деформаций практически не зависят от скорости внедрения клина.
3. Показано, что большую роль в создании благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния играет отношение радиуса скругления вершины клина и глубины его внедрения, которое должно находиться в пределах 1,8...2,2.