

## **ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НОВОГО СОВМЕЩЕННОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ УПРОЧНЕННОЙ ВИНТОВОЙ АРМАТУРЫ**

Если говорить об арматуре, используемой в строительстве, то это прутки, имеющие рифленую поверхность или же гладкую поверхность. При этом к особой группе строительной арматуры можно отнести винтовую арматуру, которая отличается от обычной рифленой арматуры тем, что ребра ее профиля служат не только для лучшего сцепления с бетоном, но и благодаря особому расположению образуют по всей длине стержня, так называемую винтовую резьбу.

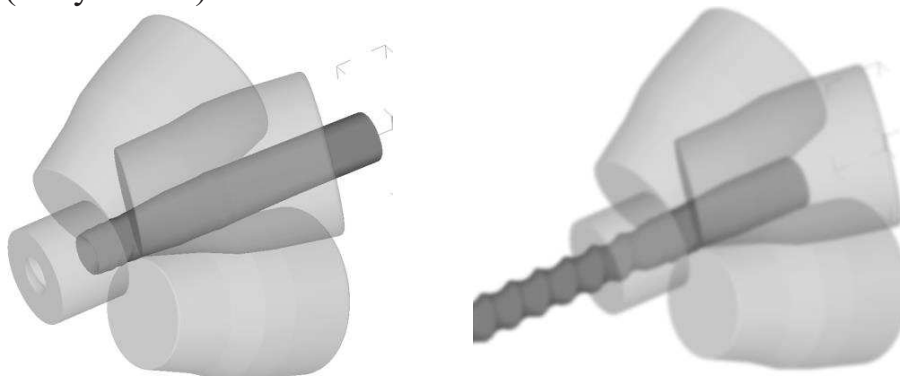
Уже давно во всем мире альтернативным вариантом решения многих проблем повышения качества металлопродукции, получаемой обработкой давлением, в том числе и упрочнения различного арматурного профиля, является использование при его производстве способов обработки давлением, реализующих в ходе деформирования интенсивной пластической деформации. Одной из таких разработок является совмещенный процесс, предложенный в работе [1], и позволяющий получать упрочненный арматурный профиль с градиентной ультрамелкозернистой структурой. Но хотя данная установка для получения упрочненного винтового арматурного профиля и имеет очень простую конструкцию и при этом она обеспечивает эффективную проработку исходной заготовки для получения ультрамелкозернистой структуры, но она все равно имеет существенный недостаток. И этот недостаток связан с ее не очень высокой технологичностью.

Для решения этой задачи, нами предложена совершенно новая энергоэффективная технология получения упрочненной винтовой арматуры, которая совмещает в единый процесс радиально-сдвиговую прокатку и деформацию скручивания в матрице, обеспечивающей формирование винтового профиля арматуры (за аналог матрицы была взята матрица, представленная в работе [1]).

Целью данной работы является компьютерное моделирование предложенного совмещенного способа получения арматурного профиля и изучение напряженно-деформированного состояния металла при его реализации. Для решения поставленной задачи использовали программный комплекс Deform.

При создании модели в программе Deform были приняты следующие допущения: материал заготовки является изотропным, в нем отсутствуют начальные деформации, несплошности, включения и т.д.; тип заготовки – пластичный, тип инструментов – жесткий; материал заготовки – сталь AISI 1015, соответствующая стали марки 15; начальная температура нагрева заготовки – 1100 °С; коэффициент теплопередачи между заготовкой и инструментом был принят равным 5 кВт/(м<sup>2</sup>·°С); теплопередача между заготовкой и окружающей средой была активирована; скорость вращения валков была принята равной 100 об/мин; на контакте заготовки и инструмента был установлен тип трения по Зибелю с коэффициентом трения 0,7 на валках и 0,1 в матрице.

После расчета была получена модель совмещенного процесса, в котором заготовка сперва прокатывается на стане радиально-сдвиговой прокатки, при этом на выходе из очага деформации на поверхности заготовки образуется винтовая реборда (Рисунок 1а). При попадании в матрицу заготовка подвергается скручиванию вокруг продольной оси на угол, соответствующий конфигурации винтового канала (Рисунок 1б).



**Рисунок 1 – Этапы деформирования**

По результатам компьютерного моделирования был выполнен анализ параметров напряженно-деформированного состояния в зонах радиально-сдвиговой прокатки и формирования винтового профиля в матрице на поверхности и осевой частях заготовки. В качестве параметров НДС были выбраны эквивалентная деформация, эквивалентное напряжение и среднее нормальное напряжение. Максимальное значение эквивалентной деформации достигается при формировании винтового профиля на заготовке в матрице, что свидетельствует об интенсивной проработке начальной структуры заготовки. Также за счет сжимающих напряжений в матрице снижается неравномерность распределения эквивалентной деформации по диаметру заготовки в сравнении с зоной радиально-сдвиговой прокатки.

При рассмотрении параметра «эквивалентная деформация» было установлено, что на стадии радиально-сдвиговой прокатки накопление данного параметра происходит преимущественно в поверхностных слоях заготовки (Рисунок 2а). После выхода из валков на поверхности уровень деформации достигает  $6,75 \div 8,5$ , постепенно снижаясь до 5 в периферийной зоне.

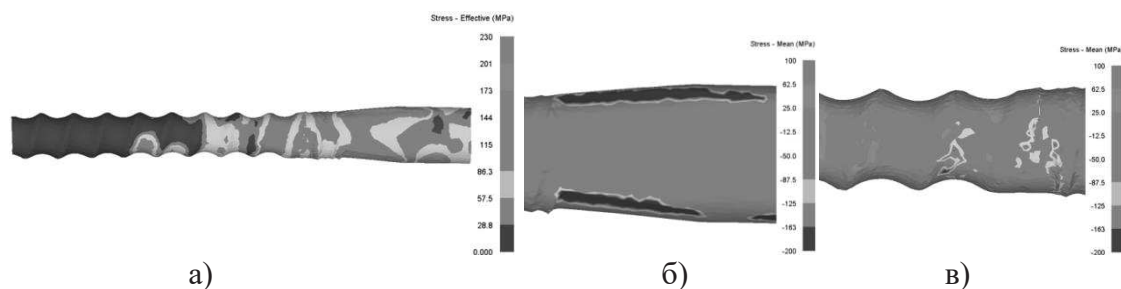
При попадании в винтовой канал матрицы заготовка подвергается интенсивной деформации за счет скручивания. В результате происходит значительный прирост деформации по всему сечению заготовки. Так, в поверхностных слоях заготовки, которые приобретают объемную винтовую форму, величина деформации достигает 11,0, плавно снижаясь до 9,0 в периферийной зоне. Центральная зона на данной стадии деформирования прорабатывается максимально интенсивно – здесь величина деформации колеблется в диапазоне  $8 \div 9$ . Причем, после прохождения винтового канала можно отметить существенное снижение разброса значений деформации.

Для дальнейшего анализа напряженного состояния были рассмотрены следующие параметры: эквивалентное напряжение (или интенсивность напряжений) и среднее гидростатическое давление. При радиально-сдвиговой прокатке максимальные значения эквивалентного напряжения возникают в зонах контакта металла с валками, достигая величины 200 МПа. На свободных от контакта зонах значение эквивалентного напряжения колеблется в пределах  $80 \div 100$  МПа. При попадании в матрицу максимальный уровень напряжений развивается лишь на первом витке, где формируется винтовой профиль. Здесь значение эквивалентного напряжения находится в диапазоне  $140 \div 150$  МПа в поверхностных слоях, подвергающихся формовке, и  $90 \div 100$  МПа в центральной части заготовки. В последующих витках величина напряжения сравнительно невелика (около 30 МПа), поскольку в них металл движется уже с готовой винтовой формой.

При рассмотрении эквивалентного напряжения необходимо понимать, что, являясь подкоренным выражением, его величина всегда положительна. Для оценки величины напряжения с учетом знака целесообразно рассматривать среднее гидростатическое давление или среднее напряжение.

При радиально-сдвиговой прокатке (Рисунок 2б) в зонах контакта металла с валками развиваются преимущественно сжимающие напряжения достигая величины -200 МПа на поверхности и снижаясь до -12,5 ближе к центральной части заготовки. На свободных от контакта зонах величина данного параметра достигает -50 МПа. При формовке в матрице (Рисунок 2в) в первом витке развиваются сжи-

мающие напряжения около -80 МПа в поверхностных слоях, подверженных формовке, и -60÷-40 МПа в центральной части заготовки.



**Рисунок 2 – Распределение эквивалентной деформации на поверхности (а) и среднее гидростатическое давление также на поверхности при РСП (б), в матрице (в)**

*Выводы:* В работе была поставлена задача моделирования совмещенного процесса радиально-сдвиговой прокатки – прессования для получения арматурного профиля из круглой заготовки.

По результатам компьютерного моделирования был выполнен анализ параметров напряженно-деформированного состояния в зонах радиально-сдвиговой прокатки и формирования винтового профиля в матрице на поверхности и осевой частях заготовки.

Максимальное значение эквивалентной деформации достигается при формировании винтового профиля на заготовке в матрице, что свидетельствует об интенсивной проработке начальной структуры заготовки. Также за счет сжимающих напряжений в матрице снижается неравномерность распределения эквивалентной деформации по диаметру заготовки в сравнении с зоной радиально-сдвиговой прокатки.

*Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP14869135)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г.И. Рааб, А.Г. Рааб, Способ упрочнения и формирования винтового арматурного стержня, Патент РФ 2640705.