

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ШТАМПОВОК КОЛЕСНЫХ ЗАГОТОВОК И ВЛИЯНИЕ ДАННЫХ СХЕМ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМОВОЧНОГО ПРЕССА И ВЕЛИЧИНУ ИЗНОСА ДЕФОРМИРУЮЩИХ ШТАМПОВ

На сегодняшний день актуальной научно-технической задачей в сфере производства железнодорожных колес является совершенствование схем штамповки в части применения рациональных силовых режимов работы прессов и высокой стойкости инструмента деформации.

В настоящей работе будет рассмотрено 3 схемы штамповки железнодорожных колес: разработанная специалистами SMS Eumiso, специалистами ОАО «Евраз НТМК» и работниками АО «Выксунский металлургический завод» (далее АО «ВМЗ»), которые реализованы на предприятиях ОАО «Евраз НТМК» и АО «ВМЗ».

Наряду с получением требуемых параметров по геометрии, макро- и микроструктуре, а также механических свойств изделий, одним из важных критериев оценки эффективности применяемых схем деформирования заготовки является их влияние на силовой режим прессопрокатного оборудования и стойкость деформирующих штампов [2].

В колесопрокатном производстве повышение стойкости инструмента деформации является актуальной задачей, так как именно этот параметр влияет на затраты, связанные с выбором марки стали для штампов, схемой их производства и применяемой технологической смазкой.

Целью данной работы является изучение влияния вышеупомянутых схем штамповки на силовые параметры формовочного пресса R9000 и пресса силой 100 МН и величину износа инструмента деформации (штампов данных прессов).

Анализ формоизменения металла, температурных и силовых параметров, а также износ штампов на формовочных прессах R9000 и 100 МН был выполнен на основе результатов конечно-элементного

моделирования процесса штамповки в среде DEFORM-3D. Штампы моделировали как недеформируемые объекты. Они были разбиты сеткой и для них, также, как и для заготовки, решалась задача теплопередачи. В качестве материалов для штампов использовали имеющуюся в базе DEFORM-3D штамповую сталь AISI-H-13 с соответствующими теплофизическими и механическими характеристиками. Твердость материала штампов была принята постоянной, не зависящей от температуры и равной 42 HRC.

Для колесной заготовки была выбрана пластическая модель материала, кривые течения металла были рассчитаны для стали марки Т (ГОСТ 10791-2011) для технологий SMS Eumiso, ОАО «Евраз НТМК» и АО «ВМЗ».

Начальная температура штампов была принята равная 150°C (данное значение было выбрано с учетом разогрева штампов в результате процесса формовки заготовки и последующим охлаждением). Заготовка имела неравномерное температурное поле в диапазоне 1100-1280°C, полученное путем конечно-элементного моделирования процессов транспортировки заготовки к прессу R5000, деформации заготовки на данном прессе и транспортировки к прессу R9000 для технологий SMS Eumiso и ОАО «Евраз НТМК». Для технологии АО «ВМЗ» температура заготовки составляла 1080-1260°C, которая была достигнута путем моделирования процессов транспортировки заготовки к осадочному прессу 20 МН, деформации на прессе 20 МН, транспортировки к прессу 50 МН, деформация на данном прессе и транспортировки к прессу 100 МН. Значения скоростей рабочего хода траверсы были заданы следующие: 0,03 м/с и 0,01 м/с для прессов R5000 и R9000 соответственно по технологии SMS Eumiso и ОАО «Евраз НТМК»; 0,06 м/с и 0,055 м/с для прессов силой 50 МН и 100 МН по технологии АО «ВМЗ».

Получить реальные значения величины износа инструмента деформации не представляется возможным ввиду нехватки информации для

расчета данного параметра при помощи заложенных в программу DEFORM-3D инструментов, то возможен лишь сравнительный анализ величины износа штампов относительно нескольких технологий.

При сравнительной оценке различных схем штамповки колесных заготовок учитывали только абразивный износ. Для расчета величины износа W использовали модель Арчарда:

$$W = \int_0^t K \frac{p^a v^b}{H^c} dt, \quad (1)$$

где v , p - скорость проскальзывания металла относительно инструмента и давление на контактной поверхности соответственно; K , a , b , c — эмпирические коэффициенты (были приняты следующие значения: $K = 2 \cdot 10^{-6}$, $a = b = 1$, $c = 2$); H — твердость материала штампов; t - время протекания процесса [2].

Напряжение контактного трения определили, как долю от величины напряжения течения металла на сдвиг:

$$\tau_{тр} = mk, \quad (2)$$

где $\tau_{тр}$ - напряжение трения; m - фактор сил трения; k - напряжение течения металла заготовки на сдвиг.

Значение фактора сил трения соответствовало условиям горячего деформирования металла со смазкой ($m = 0,3$).

Выполнен анализ трех схем штамповки колесной заготовки (рисунок 1-3) для колес диаметром 957 мм с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011:

1) Схема штамповки с предварительной осадкой гладкими плитами колесной заготовки в верхнем плавающем калибровочном кольце (данная технология в настоящее время применяется на прессопрокатной линии ОАО «Евраз НТМК»);

2) Схема штамповки с предварительной формовкой заготовки на прессе R5000 (данная технология была разработана фирмой SMS Eumiso и внедрена на предприятии ОАО «Евраз НТМК»);

3) Схема штамповки с предварительной осадкой заготовки на гладких плитах прессы силой 20 МН и «разгонкой» в нижнем технологическом кольце на последующем прессе усилием 50 МН (технология используется на предприятии АО «Выксунский металлургический завод»).

Результаты моделирования показали, что при штамповке колесных заготовок по всем трем схемам температура штампов в последний момент штамповки не превышает 300 °С.

В результате анализа было установлено, что при штамповке колесной заготовки по схеме 1, штампы в зоне ступицы заполняются задолго до окончания процесса формовки (рисунок 1б), что предполагает работу прессы в экстремальных условиях при максимально допустимой силе формовки. В результате этого, в ряде случаев, имеет место недоштамповка колесной заготовки в связи с тем, что необходимая для продолжения деформирования металла сила, даже с учетом работы прессы в режиме выдержки под нагрузкой превышает допустимую величину (90 МН). Кроме этого, доштамповка колесной заготовки в режиме выдержки, максимально развиваемой прессом силы в течение 2 - 4 с, приводит к увеличению длительности контакта деформируемого металла с инструментом и, следовательно, к его дополнительному разогреву, что уменьшает срок службы деформирующих штампов.

При штамповке колесных заготовок по схемам 2 и 3 силовой режим работы прессы является более рациональным, т.к. величина средней силы для условий формовки в этом случае меньше более чем на 25% от величины соответствующей средней силы при штамповке по схеме 1) и характеризуется постепенным нарастанием необходимой для реализации процесса формовки силы, что видно на графиках (рисунок 2б; 3б). Ее

максимальная величина нужна лишь в последний, кратковременный момент штамповки (рисунок 2в; 3в). При этом работа прессы R9000 и прессы силой 100 МН в режиме выдержки под нагрузкой, как при штамповке по схеме 1, не требуется.

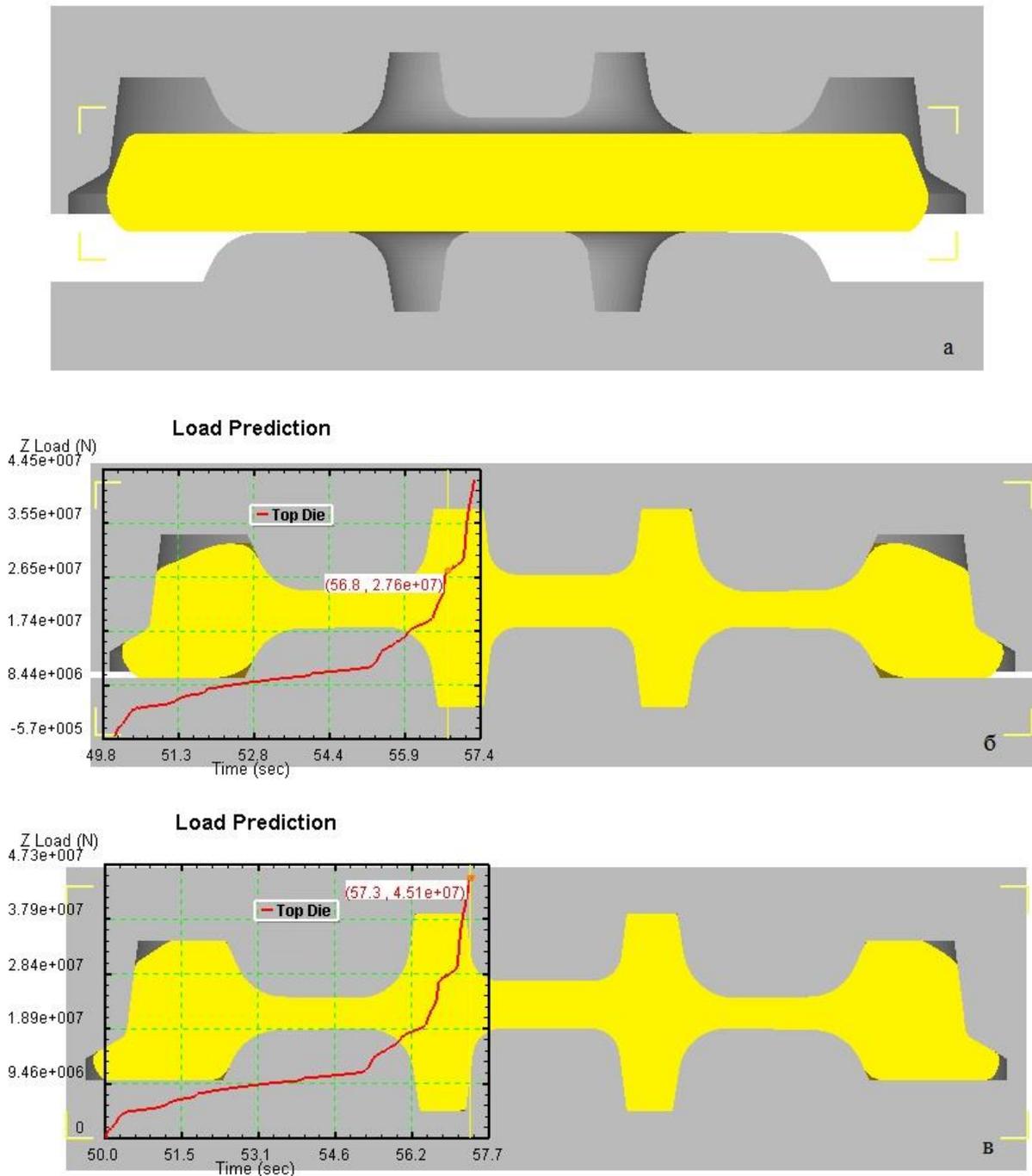


Рисунок 1 – Штамповка колесной заготовки по схеме 1:

а – первый момент времени; б – промежуточный момент штамповки;

в – последний момент штамповки.

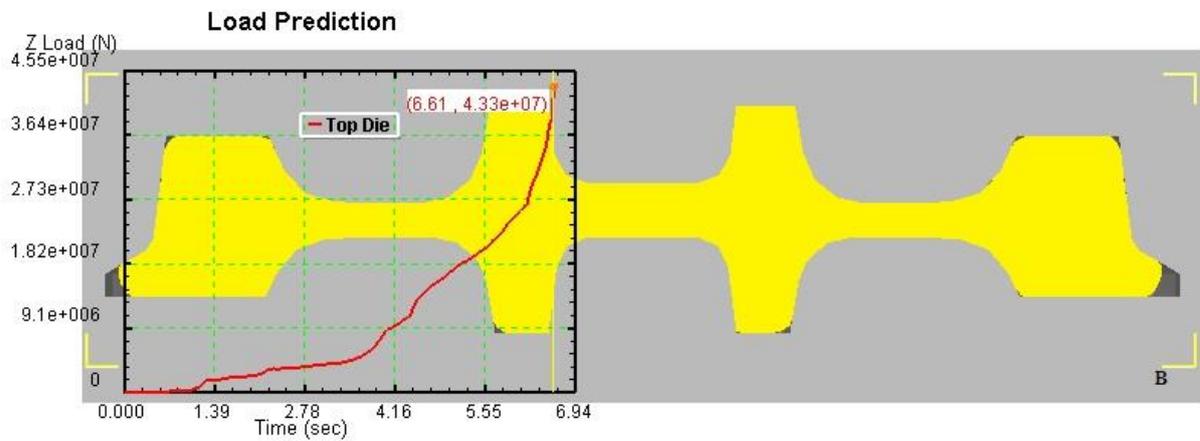
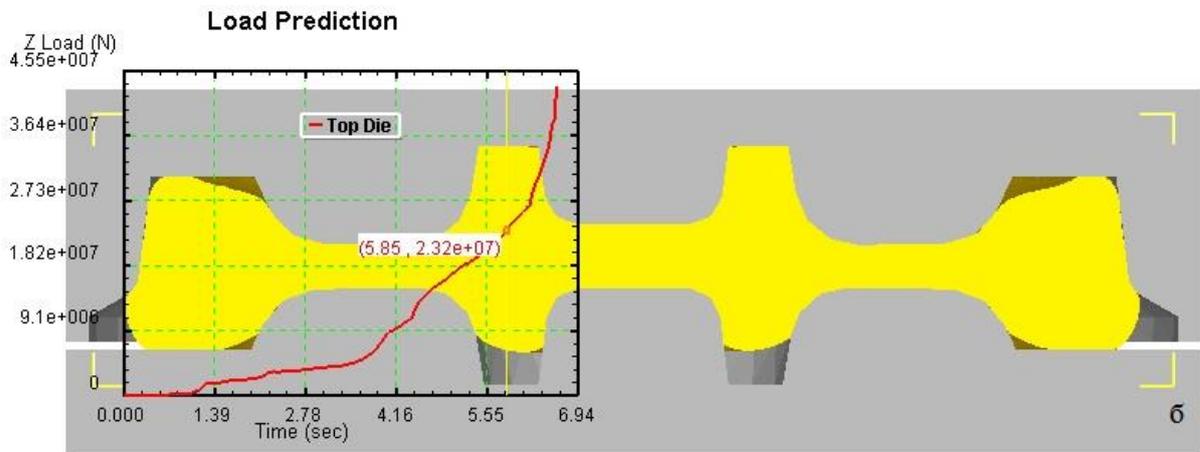
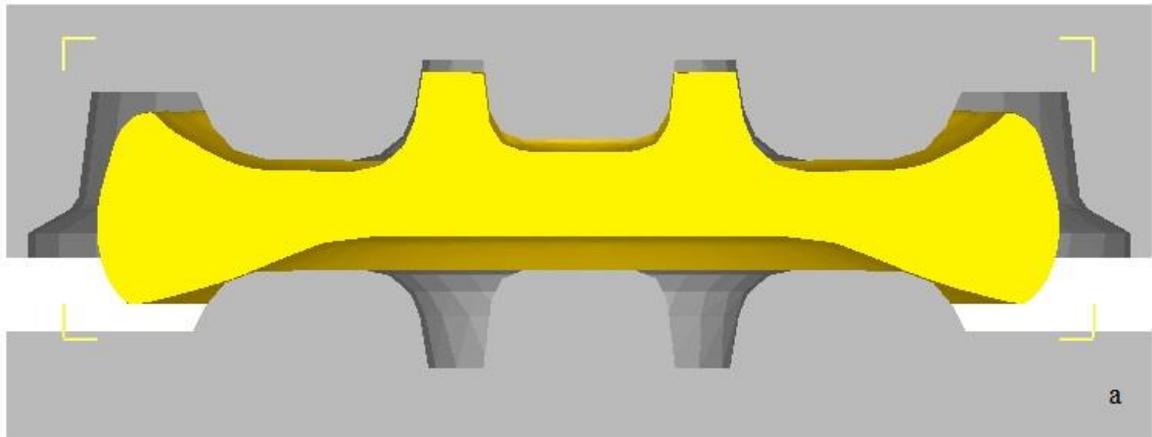


Рисунок 2 – Штамповка колесной заготовки по схеме 2:

а – первый момент времени; б – промежуточный момент штамповки;

в – последний момент штамповки.

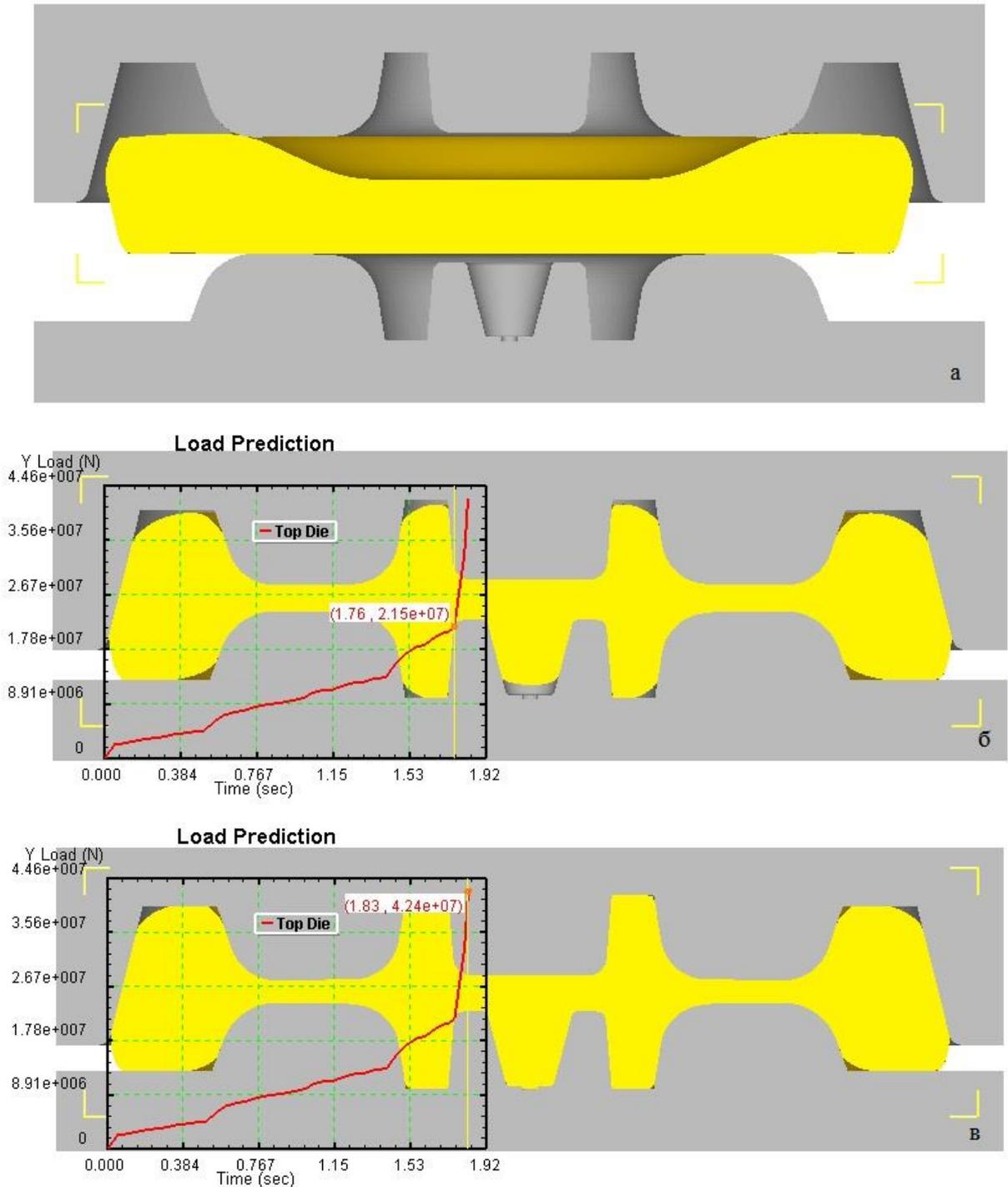


Рисунок 3 – Штамповка колесной заготовки по схеме 3:

а – первый момент времени; б – промежуточный момент штамповки;

в – последний момент штамповки.

На основе результатов моделирования процесса износа инструмента деформации (рисунок 4-6) можно сформулировать следующие выводы: преждевременное заполнение ступицы (схема 1) и реализация схемы

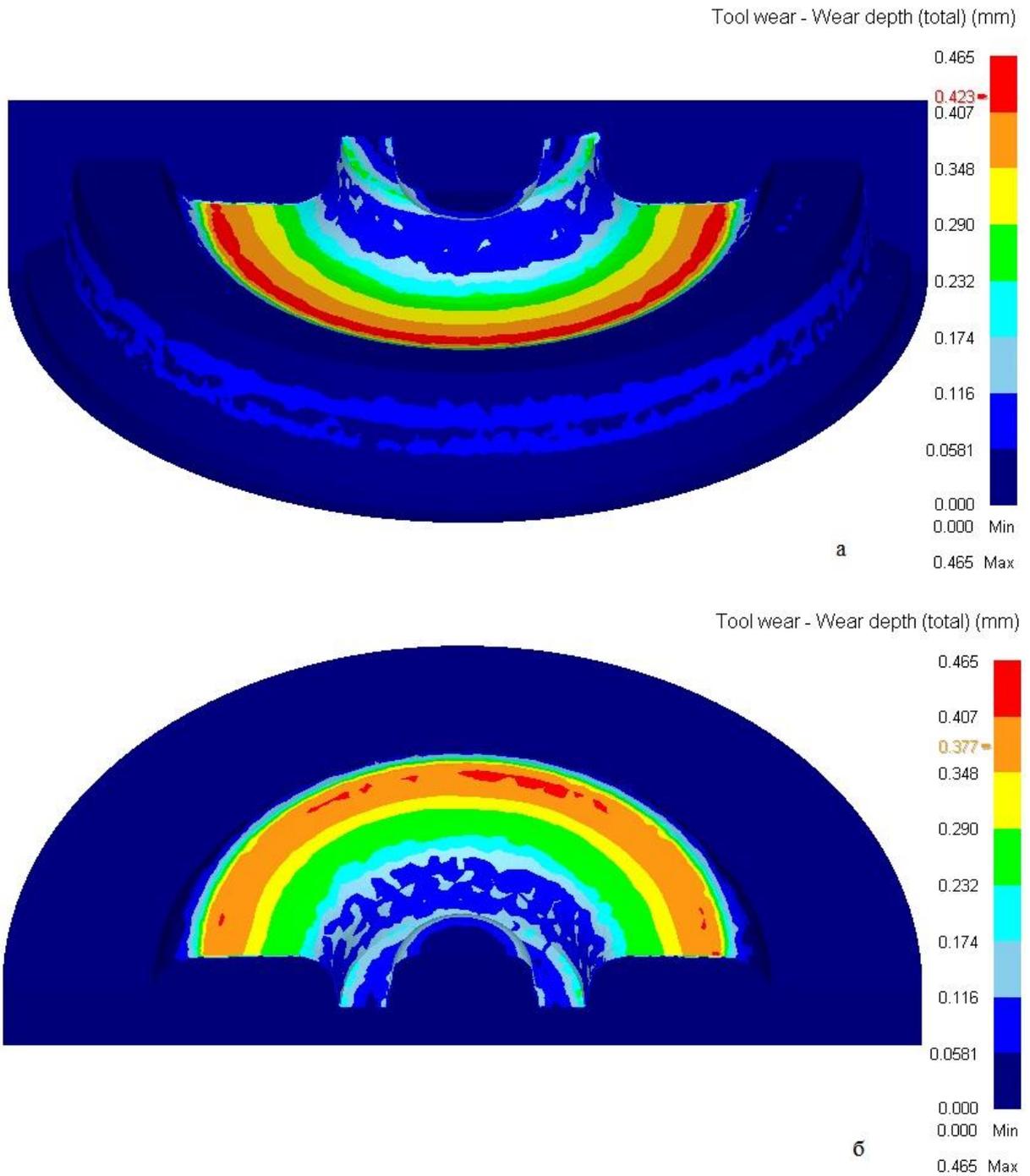


Рисунок 4 – Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме 1: а – верхний штамп; б – нижний штамп

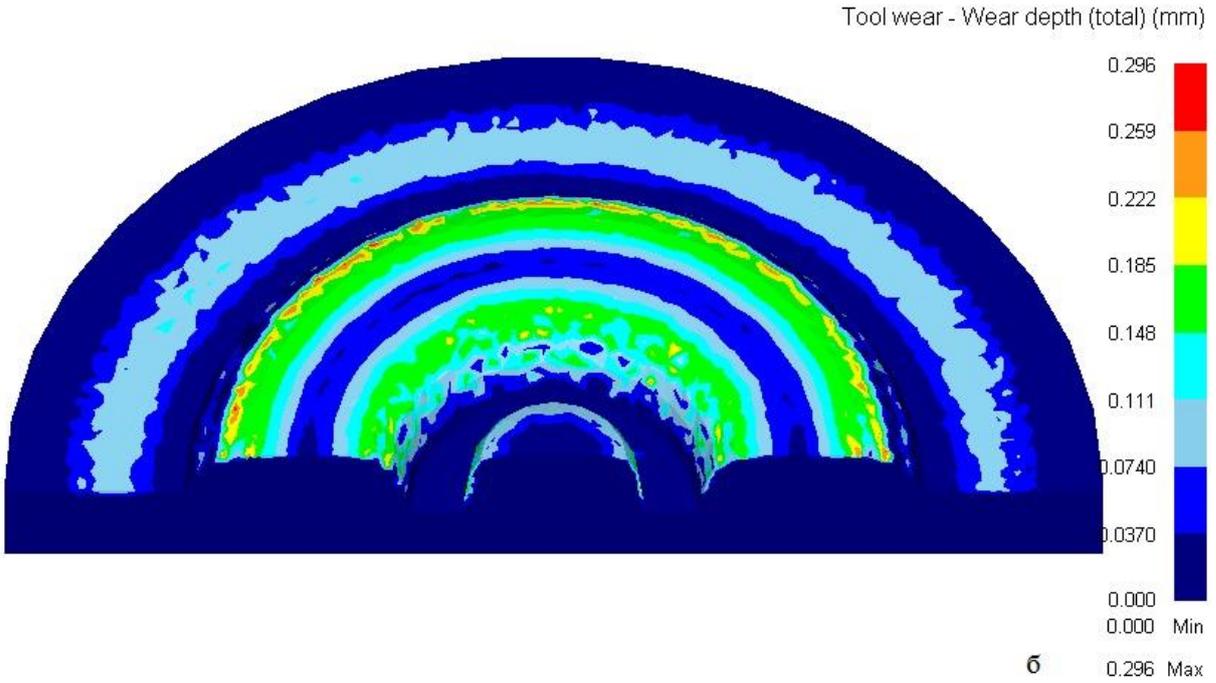
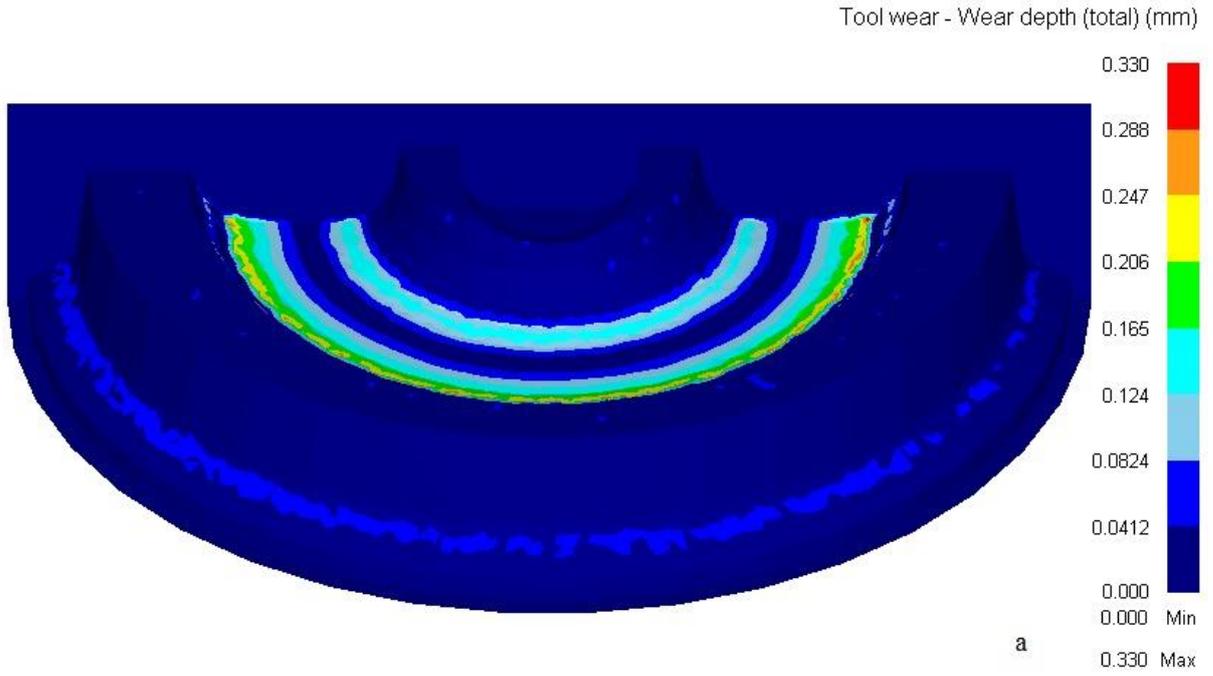


Рисунок 5 – Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме 2: а – верхний штамп; б – нижний штамп

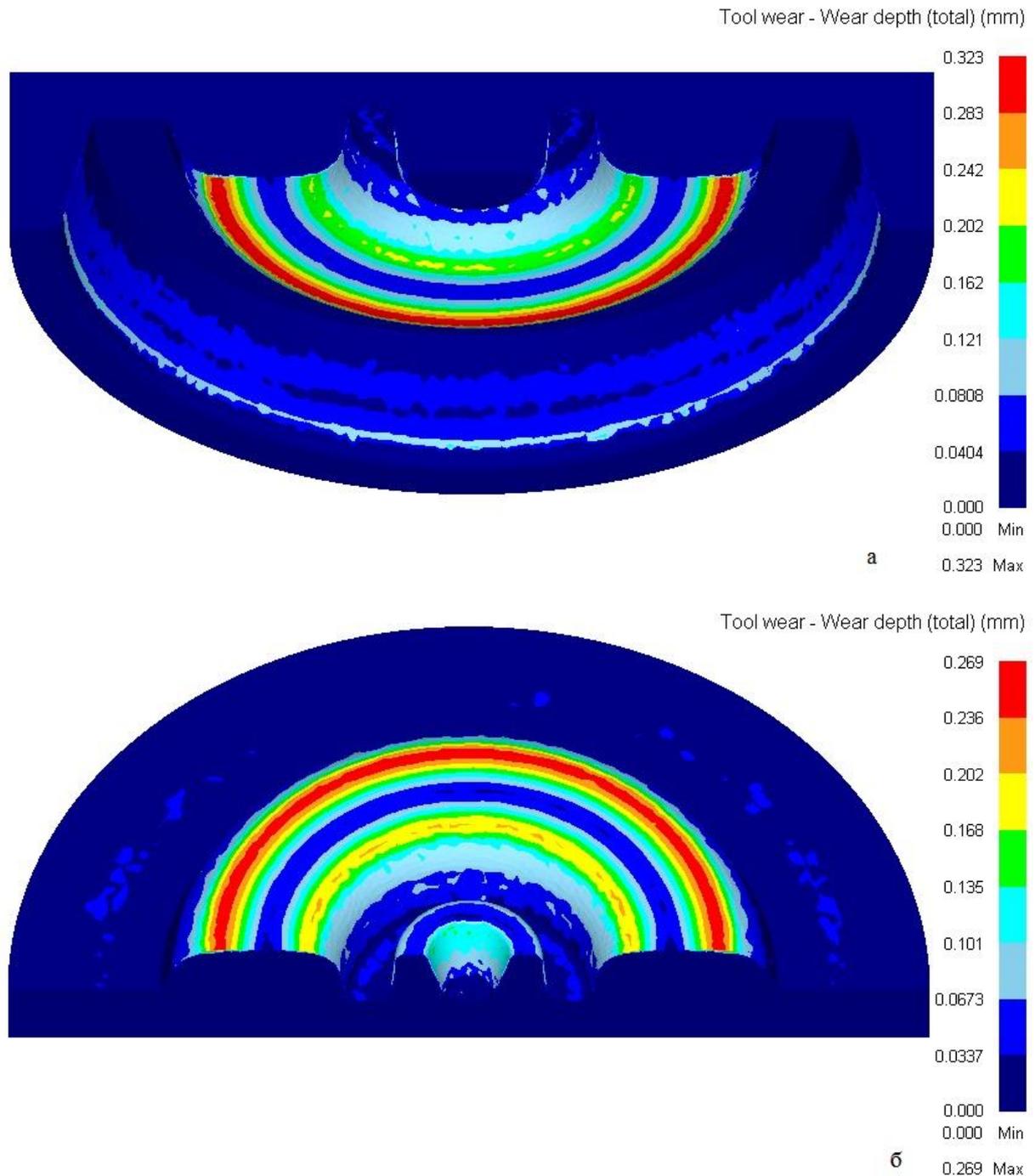


Рисунок 6 – Результаты моделирования износа штампов при штамповке колесной заготовки по схеме 3: а – верхний штамп; б – нижний штамп

одностороннего течения металла на заключительной стадии формовки приводит к повышению величины износа формовочных штампов более чем на 30% (относительно других схем) на участке формирования диска колесной заготовки, т.к. именно в этой части и происходит основная деформация металла; реализация схемы формовки заготовки с

предварительной «разгонкой» (схема 3), помимо уменьшения величины износа (относительно схемы 1) приводит к локализации износа штампов с участка формовки диска в участок перехода от диска к ступице и участок перехода от диска к ободу, причем во втором случае данная величина в 2 раза больше, чем в первом; реализация схемы формовки заготовки с предварительной формовкой верхней части заготовки (схема 2) в еще большей степени уменьшает величину износа инструмента деформации, относительно двух предыдущих схем, и при этом основной износ приходится на участок перехода от диска в ободу. Износ деформирующих штампов вследствие преждевременного контакта краев заготовки с формовочным кольцом хоть и присутствует и практически равен для всех трех схем, однако является незначительным по сравнению с основной величиной износа.

Как показали расчеты, наиболее существенным фактором, определяющим износ штампов, является величина проскальзывания деформируемого металла относительно поверхностей инструмента деформации (рисунок 7, 8, 9). Величины же контактных давлений по трем рассмотренным схемам получены близкими [3].

Установлено, что в процессе обжатия металла в области диска, чем раньше образуется подпор течению металла со стороны формовочного кольца (схема 1), тем меньше величина проскальзывания деформируемого металла относительно поверхности формовочных штампов в зонах их наиболее интенсивного износа (переход от диска к ободу) (рисунок 7, 8, 9) и, как следствие, меньше величина износа.

Как видно из рисунка 7, 8, для схем штамповки 1 и 2 характерно наличие зон повышенного проскальзывания деформируемого металла по верхнему инструменту деформации в области сопряжения поверхности катания обода и гребня формируемой колесной заготовки и расположенной под ней плоской части нижнего инструмента деформации.

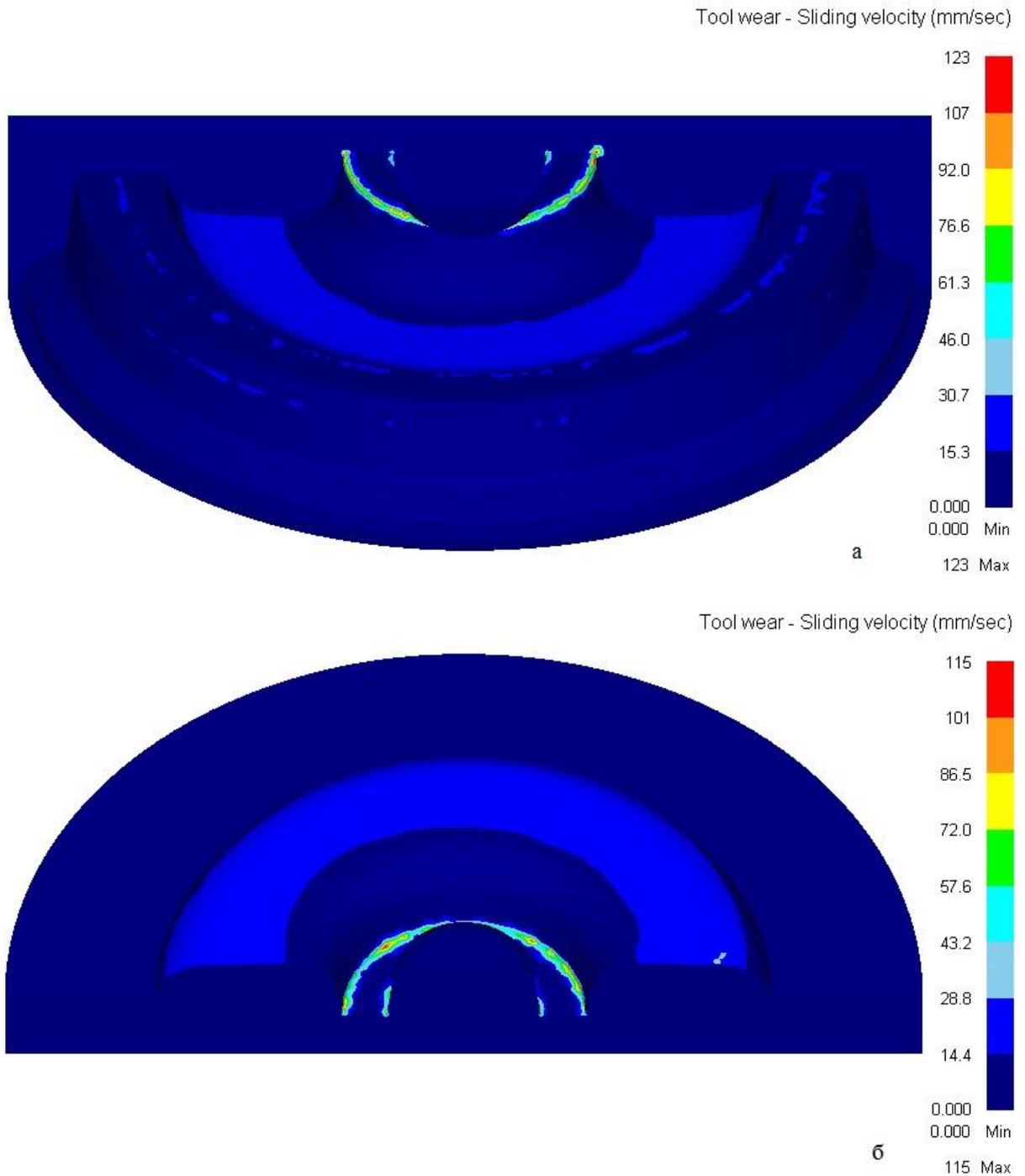


Рисунок 7 – Результаты моделирования скорости проскальзывания металла относительно верхнего инструмента деформации при штамповке по схеме 1: а – верхний штамп; б – нижний штамп

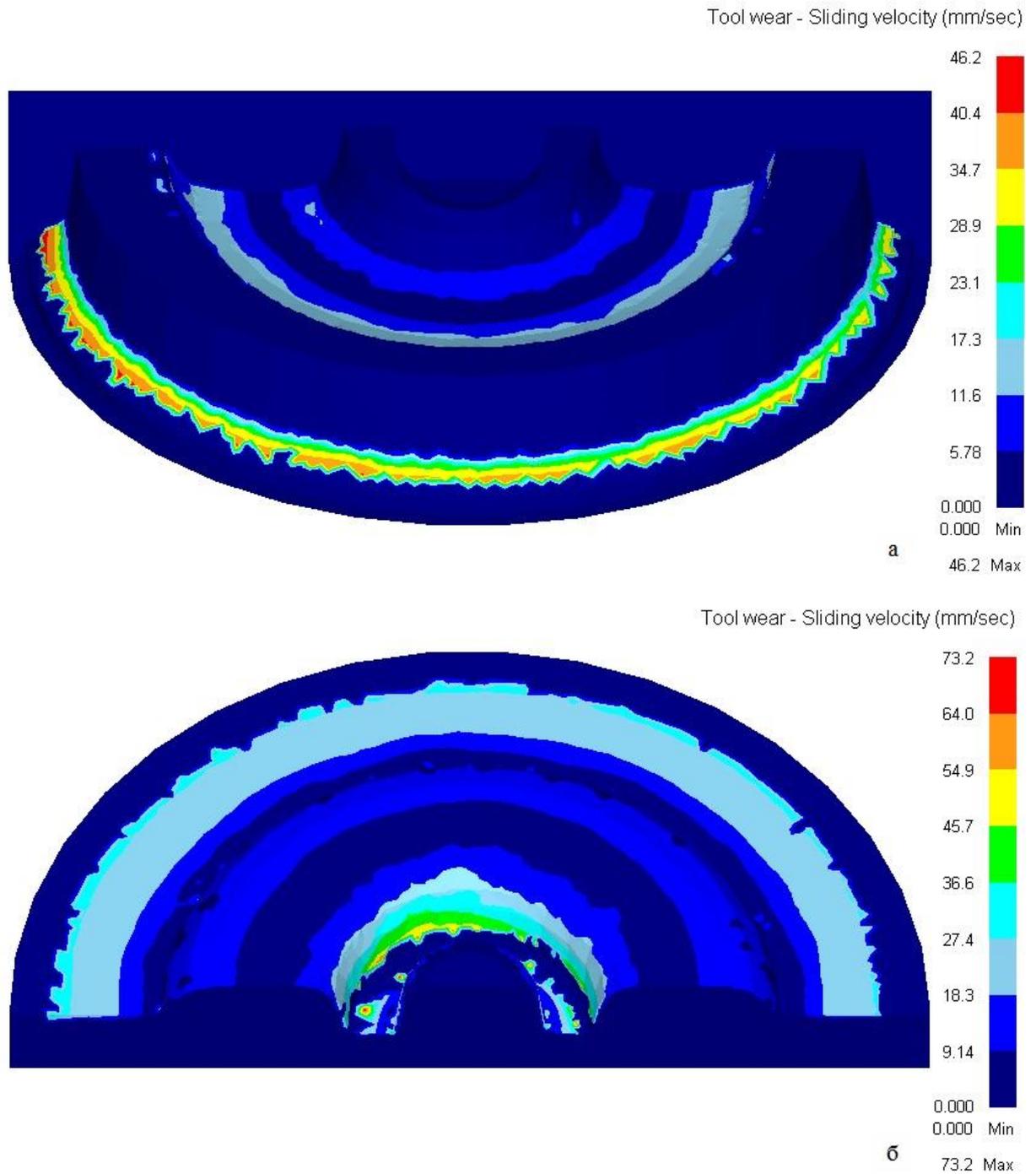


Рисунок 8 – Результаты моделирования скорости проскальзывания металла относительно верхнего инструмента деформации при штамповке по схеме2: а – верхний штамп; б – нижний штамп

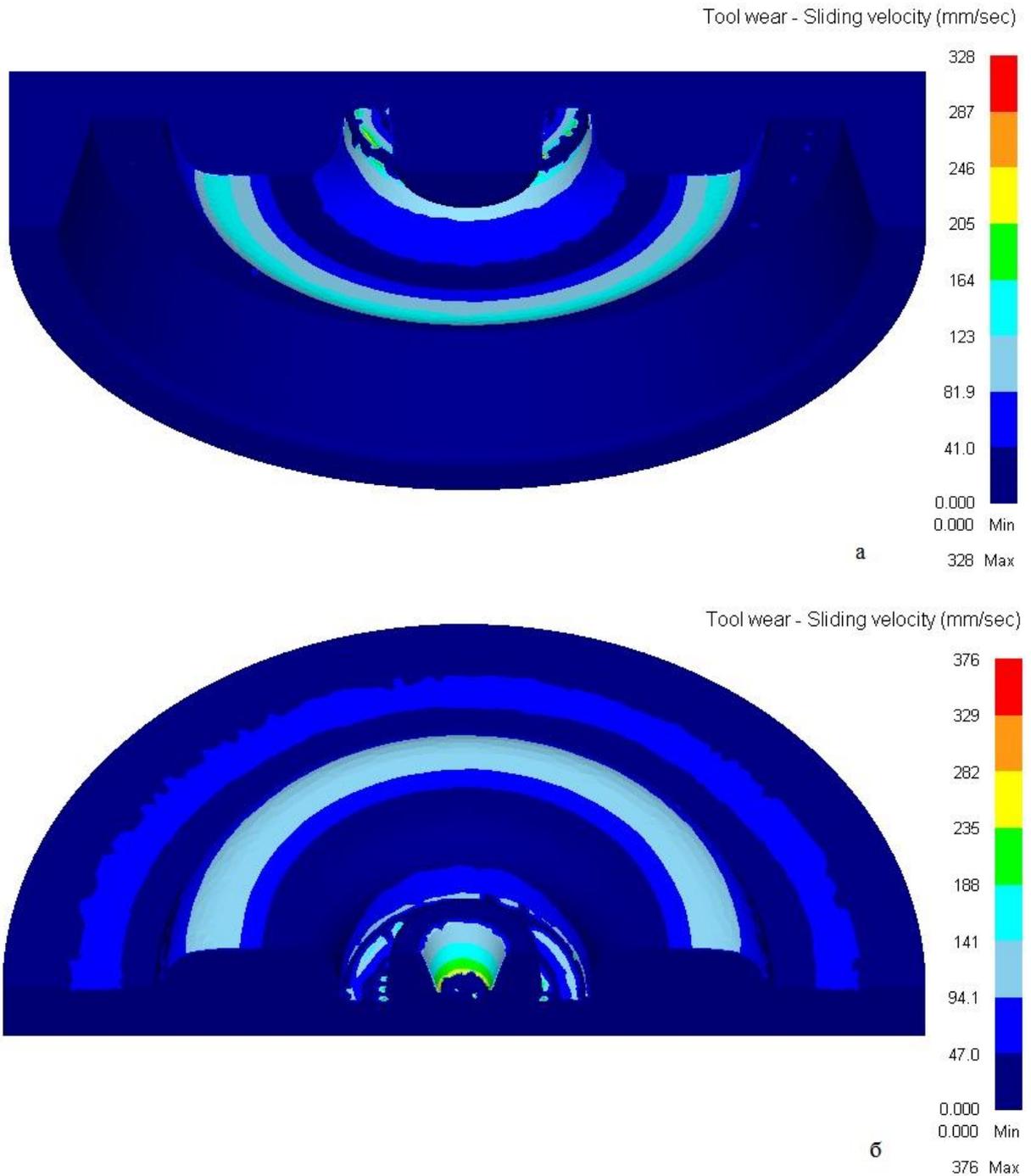


Рисунок 9 – Результаты моделирования скорости проскальзывания металла относительно верхнего инструмента деформации при штамповке по схеме3: а – верхний штамп; б – нижний штамп

Вместе с тем, указанные зоны наблюдаются непродолжительное время на заключительном этапе процесса штамповки (этапе формирования гребня) и не оказывают существенного влияния на суммарную величину

износа, а также не приводят к образованию в них повышенного износа (рисунок 5а; 6а).

Также, по схеме штамповки №3 (АО «ВМЗ»), стоит отметить наличие зоны повышенного проскальзывания металла (в 8 раз больше, чем по двум другим схемам) на участке перехода от диска к ободу, где и наблюдается максимальная величина износа инструмента деформации по данной схеме. Данное явление возникает вследствие более высокой скорости рабочего хода траверсы (в 5 раз больше) и реализации схемы одностороннего течения металла