

УДК 621.774.001.5

С. П. Жерновков, В. А. Кальченко,
А. Н. Никулин

СКОРОСТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА НА СОРТОВОМ СТАНЕ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

Деформация металла при винтовой прокатке осуществляется со скольжением заготовки относительно валков. Скольжение возникает вследствие несоответствия скорости винтового перемещения заготовки в очаге деформации скорости вращения валков. От величины скольжения зависят производительность стана, энергетические затраты на изготовление и качество металлопродукции, а также другие технико-экономические показатели производства. Обычно при винтовой прокатке скорость перемещения заготовки меньше скорости валков и в этом случае с ростом скольжения эти показатели будут ухудшаться. В то же время техническая возможность уменьшения скольжения вследствие изменения технологических параметров деформации при прокатке на стане крайне незначительна.

При использовании непрерывнолитой заготовки на сортовом стане или в технологически совмещенных процессах разливки-прокатки деформация должна осуществляться наиболее эффективным способом, чтобы можно было добиться лучшей проработки металла. Способы достижения этой цели ограничены. Для сортового стана винтовой прокатки возможным решением такой задачи является калибровка валков, что способствует в пределах требуемого обжатия заготовки более интенсивному деформирующему воздействию инструмента на металл. Поэтому в исследованиях кинематики винтовой прокатки были использованы валки с двумя видами калибровок. Их использование позволило установить зависимость скорости выхода металла из очага деформации от технологических режимов деформирования в валках с этими калибровками и определить более эффективную калибровку для технологического инструмента сортового стана винтовой прокатки.

Величину скольжения в общем случае при отсутствии осевого перемещения заготовки можно оценить коэффициентом скорости

$$\eta = \frac{v'}{v},$$

где v' — окружная скорость заготовки; v — окружная скорость валка. Окружная скорость любой точки на поверхности валка в зоне контакта

с заготовкой равна

$$v = \frac{\pi D_i n}{60}, \quad (1)$$

где D_i — диаметр валка в любой точке на его поверхности в зоне контакта с заготовкой; n — частота вращения валка. При прокатке с опережением, когда окружная скорость заготовки превышает окружную скорость валков, $\eta > 1$. При прокатке с отставанием, когда окружная скорость заготовки меньше окружной скорости валков, $\eta < 1$.

При опережении и отставании скорости заготовки от скорости валков прокатка происходит со скольжением. Но при винтовой прокатке с опережением скольжение не оказывает негативного воздействия на качество продукции. Развитие дефектов сплошности металла происходит при винтовой прокатке с отставанием и чем меньше коэффициент скорости, тем больше скольжение между заготовкой и валками. Поэтому в дальнейшем термин “скольжение” будем использовать только для случая прокатки с отставанием, представляющего больший интерес для понимания связи технологических режимов и условий деформирования с кинематикой процесса.

При исследовании кинематики процесса винтовой прокатки, учитывая расположение валков по отношению к оси прокатки под углом β (углом подачи), вращательно-поступательное перемещение заготовки в очаге деформации разделяют на тангенциальное и осевое.

Тангенциальное скольжение более заметно проявляется в качественных показателях процесса прокатки, в частности в поверхностных дефектах сорта. От осевого скольжения больше зависят производительность и интенсивность деформационного воздействия валков на металл и, соответственно, проработка осевой зоны заготовки. Тангенциальное и осевое скольжения при винтовой прокатке оцениваются коэффициентами тангенциальной и осевой скоростей. С ростом этих коэффициентов качество поверхности раската улучшается. Количественно скольжение в тангенциальном и осевом направлениях в любом сечении очага деформации можно определить по соотношениям

$$\eta_\tau = \frac{v'_\tau}{v_\tau}; \quad (2)$$

$$\eta_o = \frac{v'_o}{v_o}; \quad (3)$$

где η_τ, η_o — коэффициенты тангенциальной и осевой скоростей, v'_τ, v'_o и v_τ, v_o — тангенциальные и осевые составляющие скоростей заготовки и валка соответственно. Тангенциальная составляющая скорости валка придает заготовке вращательное движение, осевая составляющая — поступательное. При исследовании кинематики винтовой прокатки

составляющие скорости раската обычно определяют в сечении выхода металла из валков. В этом случае компоненты окружной скорости валка в точке выхода металла из очага деформации имеют вид [1]

$$v_{\tau} = v \cos \beta; \quad (4)$$

$$v_o = v \sin \beta. \quad (5)$$

По существующим методикам [1], используемым при исследовании на трубных станах винтовой прокатки, осевую скорость (скорость выхода из очага деформации) гильзы обычно определяют при помощи осциллографа. Тангенциальную скорость или непосредственно коэффициент тангенциальной скорости определяют по несоответствию расстояний между шипами на валке и отпечатками, которые они оставляют на гильзе. Шипы на валке создают специально для определения тангенциального скольжения.

Однако последняя методика вследствие больших редуцирующих обжатий заготовки (из-за больших вытяжек металла и малых сечений раската) при деформации на сортовом стане не гарантирует приемлемой точности результатов исследования тангенциального скольжения. Поэтому при исследовании тангенциального скольжения на сортовом стане был использован подход, основанный на свойствах скорости как вектора. При этом подходе для определения составляющих скорости перемещения металла в очаге деформации использовали винтовой след (отпечаток), оставляемый валком на поверхности раската. Угол подъема винтовой линии β' от валка на раскате использовали как дополнительный параметр при определении кинематических условий процесса деформации на стане:

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{S}{\pi d},$$

где S — шаг винтовой линии; d — диаметр раската. Значения S и d определяли, замеряя винтовой след от валка на деформированных заготовках.

Соотношения между скоростями в тангенциальном и осевом направлениях заготовки и валка графически представлены на рис. 1. Скорости поступательного и вращательного движений заготовки в очаге деформации исходя из соотношений (2)...(5) будут равны:

$$v'_o = \eta_o v_o = \eta_o v \sin \beta; \quad (6)$$

$$v'_\tau = \eta_\tau v_\tau = \eta_\tau v \cos \beta. \quad (7)$$

Из соотношений (6) и (7) можно установить следующую зависимость между углами β и β' (см. рис. 1), которую в дальнейшем будем использовать для определения коэффициента тангенциальной скорости:

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{\eta_o}{\eta_\tau} \operatorname{tg} \beta$$

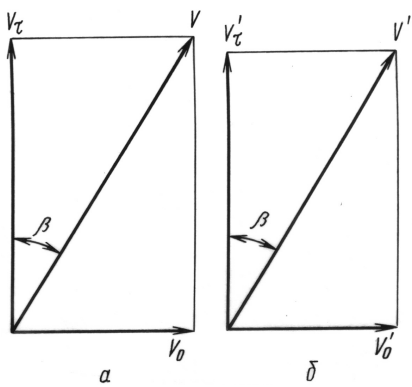


Рис. 1. Соотношение между составляющими скорости в осевом и тангенциальном направлениях:

a – валков; *б* – заготовки

или

$$\eta_{\tau} = \eta_0 \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta'} \quad (8)$$

Несмотря на многочисленные эксперименты, количественная оценка влияния всех факторов на скольжение металла в очаге деформации затруднена. Тангенциальное скольжение мало чувствительно к изменению технологических факторов и сравнительно невелико: для трубных станов тангенциальная составляющая скорости заготовки составляет 0,85... 1,05 от тангенциальной составляющей скорости валков [1]. Для сортовых станов винтовой прокатки коэффициент тангенциальной скорости будет меньше этих величин, что обусловлено в основном геометрическими параметрами очага деформации, технологическими, конструктивными и другими причинами. Очаг деформации на сортовом стане имеет конусность 12... 20°, в то время как на трубном стане этот показатель равен 3,5... 5,5°. Величина суммарного обжатия заготовки на трубном стане обычно имеет значения $\varepsilon_{\Sigma} < 25\%$. Для сортового стана значение $\varepsilon_{\Sigma} = 50\%$ считается оптимальным, а деформация на нем может осуществляться при обжатии $\varepsilon_{\Sigma} \approx 80\%$.

Различные конструктивные и технологические возможности станов будут находить отражение в кинематических условиях деформирования на них. Так, для рассматриваемого сортового стана отношения окружных скоростей валка на входе и выходе из физического очага деформации составят $\frac{v_1}{v_2} = 1,82$ при $\varepsilon_{\Sigma} = 62,5\%$, $\lambda = 7,1$ и $\frac{v_1}{v_2} = 1,31$ при $\varepsilon_{\Sigma} = 25\%$, $\lambda = 1,77$. Для трубного стана с бочковидными валками при $\varepsilon_{\Sigma} = 25\%$ возможное отношение окружных скоростей валка на входе и выходе из очага деформации составит $\frac{v_1}{v_2} \approx 0,97$, где v_1 и v_2 – окружные скорости валка на входе и выходе из очага деформации.

Неравенство окружных скоростей при винтовой прокатке обусловлено калибровкой технологического инструмента (конусностью валка). Отношение диаметра валка D к диаметру заготовки d по длине очага деформации не будет постоянным. Тангенциальное скольжение по длине очага деформации также будет переменным. В то же время винтовое перемещение металла в очаге деформации от входа и до выхода из него, если не принимать во внимание незначительного скручивания раската на этих станах валками, осуществляется с постоянной угловой

скоростью. И тангенциальное скольжение между валком и деформируемой заготовкой в значительной мере можно рассматривать как результат компенсации несовершенств этого технологического процесса.

На трубных станах по технологическим условиям процесса и относительно небольших углах подачи ($\beta \leq 12^\circ$) очаг деформации имеет длинную контактную поверхность, на которой тангенциальная составляющая сил трения, придающая заготовке вращение, приобретает максимальное значение, а тангенциальное скольжение получит минимальное развитие [1]. К тому же на этих станах из-за малых единичных обжатий ($\varepsilon \leq 2\%$) осевое перемещение металла за шаг подачи не велико.

Сортовой стан предназначен для редуцирования сплошной заготовки при больших углах подачи ($\beta > 20^\circ$) и с большими единичными обжатиями ($\varepsilon \geq 5\%$). При подобных режимах прокатки и технологических задачах стана очаг деформации будет коротким ($l_2/l_1 > 3$, где l_1 и l_2 — длина очага деформации на сортовом и трубном станах), а осевое перемещение металла за шаг подачи большим. В данных условиях тангенциальная составляющая сил трения не получит существенного развития и тангенциальная составляющая скорости раската будет намного уступать идентичному показателю вала [2]. Поэтому на сортовых станах тангенциальное скольжение будет более значительным, чем на трубных станах.

Для сортового стана винтовой прокатки наиболее широкие участки контактной поверхности заготовки с валками находятся в начале очага деформации и они будут являться доминирующими в развитии скоростных условий процесса обжатия металла. Тангенциальная составляющая сил трения здесь получит по сравнению с остальной частью контактной поверхности большее развитие и придаст заготовке угловую скорость, соответствующую скоростным и геометрическим условиям данной зоны очага деформации. Эта скорость не будет соответствовать скоростным и геометрическим условиям другой части очага деформации, хотя на весь период прокатки ее можно рассматривать как постоянную. Для остальной части обжимаемого металла она будет являться управляющим кинематическим параметром, в целом адаптирующим скоростные, геометрические и другие различия по длине очага деформации к каким-то единым граничным условиям.

Технологические приемы ограниченного влияния на тангенциальное скольжение на трубных станах известны и отработаны. Воздействовать на тангенциальное скольжение можно, изменяя углы подачи. С ростом углов подачи коэффициент тангенциальной скорости на трубных станах обычно увеличивается [1], хотя отмечались и другие, противоположные результаты [3]. Противоречия между этими результатами, по-видимому, нет. Просто они получены при различных усло-

виях деформирования, и их следует рассматривать скорее как варианты реакции единого технологического процесса на изменения скоростных, граничных, размерных и других условий прокатки.

Осевое скольжение по сравнению с тангенциальным скольжением имеет более сложную зависимость от технологических факторов и может изменяться в довольно широких пределах при изменении условий деформирования, что делает не вполне очевидным его связь с режимами прокатки, конструктивными особенностями стана (клетки) и в целом с технологией процесса деформации. Последнее обстоятельство в отличие от тангенциального скольжения указывает на перспективность поиска способов управления осевым скольжением. Оптимизация способов управления значениям осевого скольжения позволит добиться более заметного улучшения количественных и качественных показателей работы оборудования.

С учетом этих соображений и невозможности прямого непосредственного определения тангенциального скольжения из экспериментов, основное внимание было уделено исследованию влияния технологических факторов на осевое скольжение. К тому же исследования осевого скольжения при винтовой прокатке проводились в основном на трубных станах, на сортовых станах подобные исследования практически не выполнялись.

Осевое скольжение происходит по всей длине очага деформации, значение его переменное и изменяется в направлении выхода деформируемого объема металла из валков в соответствии с увеличивающейся вытяжкой заготовки. Хотя для прокатки скольжение следует рассматривать как естественное явление, без которого процесс деформации невозможен, его наличие, в случае существенного отставания скорости перемещения заготовки от скорости валков, может ухудшить качественное состояние поверхности раската и уменьшить производительность оборудования.

Осевая составляющая скорости валков на прошивных трубных станах обычно превышает осевую скорость перемещения заготовки (гильзы) и коэффициент осевой скорости η_0 находится в пределах $0,4 \dots 0,9$. На двухвалковых станах различие в скоростях валков и заготовки больше, чем на трехвалковых станах [1]. При деформации на трубном прошивном стане осевому перемещению металла оказывает сопротивление оправка, которая в данном случае является естественным технологическим препятствием, снижающим скорость поступательного движения заготовки.

На сортовом стане винтовой прокатки не используются технологические оправки, и деформация на нем осуществляется в отсутствие осевого сопротивления перемещению заготовки. На этих станах скорость осевого перемещения заготовки будет зависеть только от граничных условий на контактной поверхности между заготовкой и валками

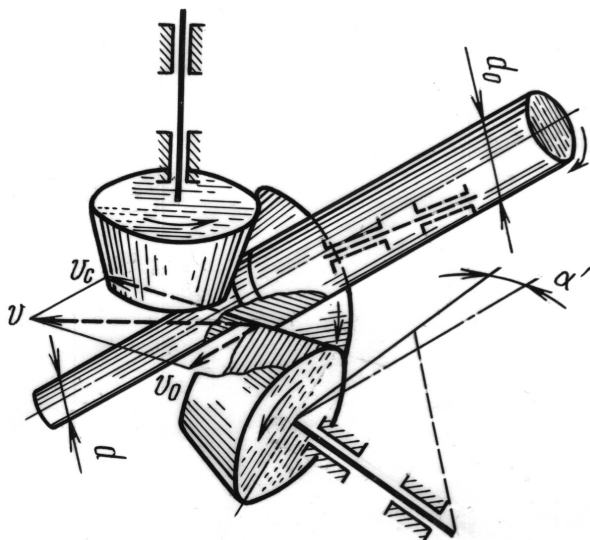


Рис. 2. Схема сортового стана винтовой прокатки

и, по всей вероятности, от уровня развития сдвиговых процессов в металле под воздействием технологического инструмента.

Наличие скольжения между металлом и валком при прокатке придает заготовке определенную автономность в скоростных условиях деформирования, задаваемых технологическим инструментом, что находит отражение в зависимости коэффициента осевой скорости от режима деформации, материала заготовки, вытяжки, калибровки валков и других факторов. Для установления этих зависимостей были выполнены исследования по деформации заготовок из стали разных марок в валках с прямолинейной гладкой рабочей поверхностью и с гребнем (со ступенчатой калибровкой).

Исследование проводили на сортовом трехвалковом стане ВК100 винтовой прокатки с консольным креплением конических валков. На стане осевую подачу заготовки регулируют разворотом корпуса (кассеты) с валком на угол $\alpha' = 0 \dots 10^\circ$ вокруг оси, перпендикулярной оси прокатки и находящейся с ней в одной плоскости. Схема сортового стана винтовой прокатки с коническими валками приведена на рис. 2. Необходимо отметить, что в станах подобной конструкции в отличие от трубных станов с бочковидными валками угол подачи меняется вдоль очага деформации. На этом стане угол подачи определяется уравнением [3]

$$\sin \beta = \frac{a \sin \alpha}{R + r \cos \alpha}, \quad (9)$$

где a — расстояние между перекрещивающимися осями прокатки и валка; α — угол между осями прокатки и валка (угол раскатки). Для данного стана $\alpha = 45^\circ$; R и r — переменные радиусы валка и раската.

Значение a обычно определяется по формуле

$$a = \left[\left(\frac{R_o}{\cos \alpha} + r_o \right) \operatorname{ctg} \alpha + k \right] \sin \alpha', \quad (10)$$

где R_o и r_o — минимальные радиусы соответственно валка и раската; k — расстояние от оси разворота валка до плоскости выхода раската из очага деформации, для данного стана с гладкой калибровкой валков $k = 545$ мм, со ступенчатой калибровкой валков $k = 550$ мм; α' — угол разворота валков.

С использованием формул (9) и (10) были определены углы подачи β для каждого режима деформирования металла.

Непостоянство угла подачи по длине очага деформации затрудняет его использование при анализе реального деформационного процесса, например при определении единичных обжатий по длине очага деформации числа циклов обжатия и других показателей, необходимых для количественной и качественной оценки технологического процесса. Поэтому все исследования и расчеты выполнены для точки отрыва металла от валков в сечении выхода заготовки из очага деформации.

Для нахождения зависимости осевого скольжения от технологических режимов деформирования были проведены эксперименты. Было установлено влияние углов подачи и вытяжки металла на осевое скольжение и скорость прокатки заготовки. Эксперименты выполняли на заготовках диаметром $80 \dots 100$ мм, длиной $400 \dots 500$ мм при углах подачи $\beta = 4 \dots 36^\circ$ (в сечении выхода заготовки из очага деформации) с вытяжкой $\lambda = 1,3 \dots 8,07$. Материал заготовок: железо марки 03ЖР (Армко-железо), сталь марок ШХ15, 40Х, ЭП303 (55Х20Н4АГ9), ЭП678 (03Х11Н10М2Т). Температура нагрева заготовок для прокатки в зависимости от марки материала составляла $1150 \dots 1180^\circ\text{C}$.

Для определения скорости осевого перемещения заготовки и осевой составляющей окружной скорости технологического инструмента стана осциллографом Н-105 фиксировали частоту вращения валков при прокатке и крутящий момент на шпинделе валка. Время нахождения заготовки в очаге деформации определяли по отметкам счетчика времени осциллографа и по изменению кривых крутящего момента на осциллографической ленте.

Были также фиксированы размеры (длина и диаметр d) деформированных заготовок, рассчитана длина очага деформации для каждой заготовки. Установлен шаг S следа от валка на металле для определения угла β' подъема винтовой линии на раскате. При наличии этих данных с использованием формул (1) и (3) определяли осевую составляющую скорости валка v_o и скорость осевого перемещения заготовки в очаге деформации v'_o , по которым в дальнейшем были установлены

коэффициенты осевой скорости. Затем по соотношению (8) были найдены коэффициенты тангенциальной скорости при прокатке металла по различным режимам деформирования.

Влияние окружной скорости валков на скольжение не исследовали. На практике установлено, что увеличение окружной скорости валков повышает скольжение, а рост углов подачи ведет к его снижению. Поэтому интенсификацию процесса винтовой прокатки эффективнее осуществлять за счет роста углов подачи, а не увеличения частоты вращения валков. Причем при увеличении частоты вращения валков возрастает удельный расход электроэнергии на производство 1 т продукции, а при росте углов подачи – снижается [1, 4]. Эти обстоятельства были приняты во внимание и исследования ограничились только изучением влияния углов подачи и вытяжек металла на скольжение при винтовой прокатке, а сами исследования осуществили при постоянной частоте вращения валков равной $30 \pm 1,5 \text{ мин}^{-1}$.

При изменении режимов прокатки обнаруживается зависимость скольжения как от технологических показателей деформации, так и от технологических свойства металла, определяемых химическим составом и структурой стали или сплава. В исследовании использовали заготовки из железа и высоколегированных сталей, которых ранее в экспериментах на трубных станах не применяли, и полученные результаты по сравнению с известными данными [1, 2, 4] не столь однозначны. Отсутствие или большое число легирующих элементов в металле придадут материалу заготовки свойства, в присутствии которых при деформации обнаруживается более сложная зависимость составляющих скольжения от угла подачи и вытяжки, чем это было установлено ранее [1, 2] (рис. 3, 4).

На пластические свойства некоторых сложнолегированных марок стали, имеющих узкий интервал пластичности, в частности ЭП678 и ЭП303, положительное воздействие оказывает проявление деформационных эффектов при редуцировании. С ужесточением режимов деформирования, вероятно, вследствие усиливающегося разогрева металла улучшаются его пластические свойства, что обуславливает улучшение скоростных характеристик процесса прокатки. А вообще, ужесточение режимов прокатки, как правило, ухудшает кинематические условия деформирования металла.

Природа материала заготовки влияет на скольжение, по-видимому, также через образование окалины определенного химического состава. От свойств окалины будут зависеть граничные условия на контактной поверхности и, соответственно, скольжение металла в очаге деформации. Но в целом особых отличий влияния углов подачи и вытяжек на коэффициенты тангенциальной и осевой скоростей при винтовой прокатке сорта в сравнении с трубными станами не выявлено. При прокатке на этих станах в основном проявляются общие

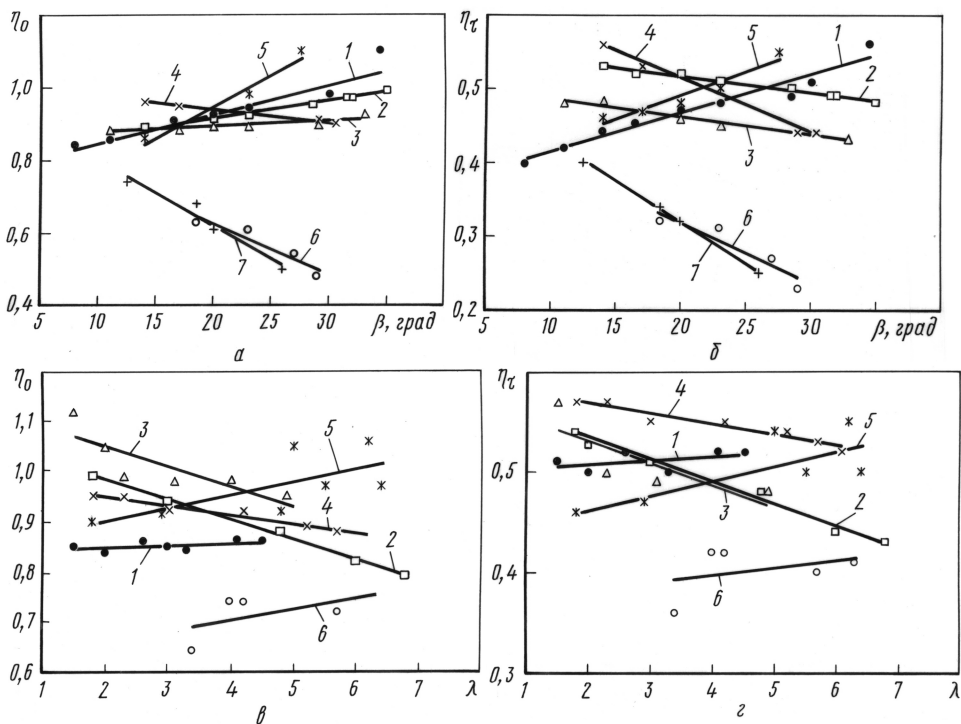


Рис. 3. Изменения коэффициентов η_0 и η_T осевой (а, в) и тангенциальной (б, з) скоростей в зависимости от угла подачи β (а, б) и вытяжки λ , (в, з) при прокатке в валках с гладкой бочкой:

1...3 – ОЗЖР; 4, 5 – ЭП678; 6, 7 – ЭП303; $\lambda = 1,6$ (1); 2,5 (2); 3,6 (3); 1,8 (4); 6,0 (5); 3,4 (6); 4,3 (7); $\beta = 14^\circ$ (1, 4, в, з); 23° (2, в, з); 35° (3, в, з); 26° (5, в, з); 17° (6, в, з)

для них закономерности в воздействии режимов деформирования на скольжение металла.

Различие, обусловленное специализацией станов, проявляется лишь в самих значениях коэффициентов тангенциальной и осевой скоростей. При прокатке на сортовом стане коэффициент тангенциальной скорости меньше, а коэффициент осевой скорости значительно больше, чем на трубном стане. И в целом при деформации на сортовом стане в кинематике процесса существенно превалирует осевая составляющая скорости металла, а не тангенциальная составляющая, как на трубном стане. Поэтому технологический процесс деформации на сортовом стане будет находиться в большей зависимости от факторов, которые негативно воздействуют на осевое скольжение, чем на трубном стане. На сортовом стане эта зависимость проявляется наиболее заметно в удлинении времени прокатки металла. Вследствие короткого очага деформации и больших единичных обжатий технологический процесс на сортовом стане более чувствителен к граничным условиям очага деформации.

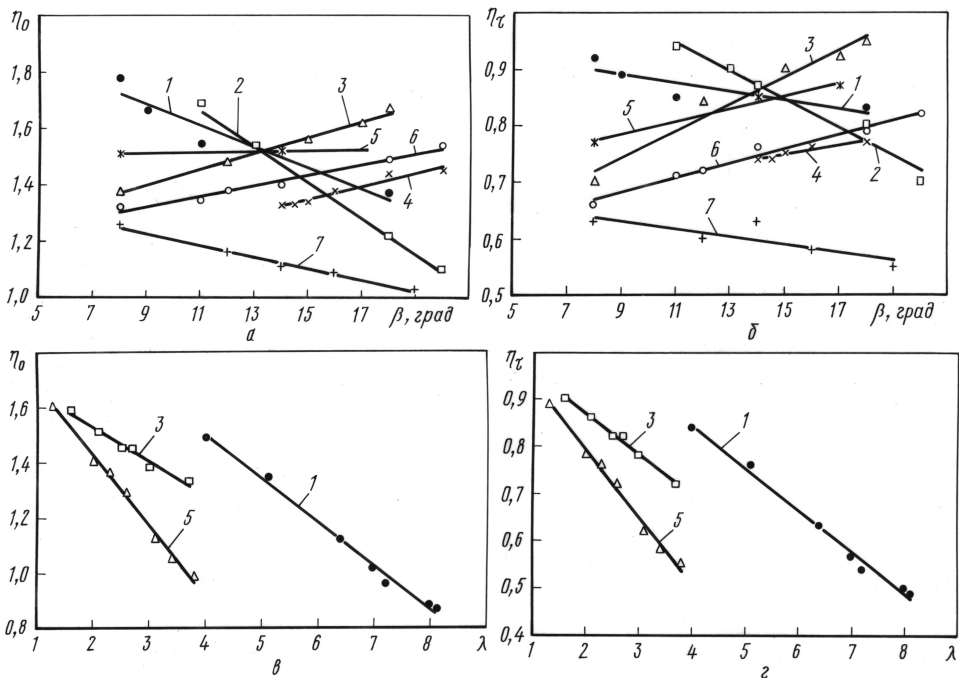


Рис. 4. Изменения коэффициентов η_0 и η_τ осевой ($a, в$) и тангенциальной ($б, з$) скоростей в зависимости от угла подачи β ($a, б$) и вытяжки λ , ($в, з$) при прокатке в валках с гребнем:

1, 2 – ШХ15; 3, 4 – 40Х; 5... 7 – ЭП303; $\lambda = 1,85$ (1); 4,0 (2, 7); 1,8 (3, 5); 4,0 (4); 1,3 (6); $\beta = 17^\circ$ (1, 3, в, з); 14° (5, в, з)

Вообще на осевое скольжение значительное влияние оказывают все факторы, которые в той или иной степени изменяют коэффициент трения на контактной поверхности очага деформации. В первую очередь это относится к состоянию поверхности валков, к уровню их шероховатости. При чрезмерно гладкой заполированной поверхности валков коэффициент осевой скорости уменьшается, а при наличии шероховатостей поверхности валков он повышается и будет тем больше, чем больше шероховатость валков.

По результатам исследований было установлено, что наиболее заметное воздействие на осевое скольжение оказывает калибровка валков. При деформации заготовки в валках с гребнем осевая составляющая скорости заготовки на некоторых режимах прокатки превышала более чем в 1,5 раза осевую составляющую скорости валков. На этих валках тангенциальная составляющая скорости заготовки на сортовом стане приближается по значению к тангенциальной составляющей скорости заготовки на трубном стане. При использовании в технологическом процессе валков с гребнем будет возрастать и производительность стана.

Валки с гладкой рабочей поверхностью таких скоростных показателей прокатки обеспечить уже не могут. Деформация в них за редким

исключением для некоторых режимов прокатки осуществляется с отставанием осевой составляющей скорости раската от скорости валков. И по сравнению с обжатием в валках с гребнем деформация металла в валках с гладкой калибровкой осуществляется в более мягком режиме. Наличие гребня на поверхности валков не позволяет заготовке "елозить" в очаге деформации и способствует росту шага подачи металла и, следовательно, его вытяжке за шаг подачи. При большем шаге подачи единичные обжатия увеличиваются и, как следствие, улучшается качество поверхности раската.

Большие единичные обжатия оказывают более интенсивное деформирующее воздействие на заготовку. Поэтому валки с гребнем при большей скорости прокатки будут обеспечивать лучшую проработку структуры металла, в том числе и осевой зоны раската, чем валки с гладкой калиброванной поверхностью при одинаковом суммарном обжатии заготовки. Это особенно важно при использовании непрерывнолитых заготовок в качестве исходных в ситуациях, когда по технологическим условиям для устранения осевой пористости раската невозможно увеличить общее обжатие металла. В этом случае использование калибровки валков, обеспечивающей интенсивное воздействие на металл вследствие больших единичных обжатий, наряду с увеличением производительности оборудования позволит улучшить качество продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т е т е р и н П. К. Теория поперечной и винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1983. – 270 с.
2. П о т а п о в И. Н., П о л у х и н П. И. Технология винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
3. Ц е л и к о в А. Н., Б а р б а р и ч М. В., В а с и л ь ч и к о в М. В. и др. Специальные прокатные станы. – М.: Металлургия, 1971. – 336 с.
4. Д а н и л о в Ф. А., Г л е й б е р г А. З., Б а л а к и н В. Г. Горячая прокатка и прессование труб. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.

Статья поступила в редакцию 4.04.2007

Сергей Петрович Жерновков родился в 1948 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1972 г. Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НПО "ТОЧМЕТ". Автор более 40 научных работ в области обработки металлов давлением.

S.P. Zhernovkov (b. 1948) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1972. Ph. D. (Eng.), senior researcher of the Scientific and Production Enterprise "Tochmet". Author of 40 publications in the field of metal forming.

Владимир Андреевич Кальченко родился в 1943 г., окончил МИЭМ в 1967 г. Старший преподаватель кафедры "Технология обработки материалов" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 25 научных работ в области обработки металлов давлением.

V.A. Kal'chenko (b. 1943) graduated from the Moscow Institute for Electronic Mechanical Engineering in 1967. Senior lecturer of "Metal Forming" department of the Bauman Moscow State Technical University.. Author of 25 publications in the field of metal forming.