

УДК 621.771.016.6

Пеев В. М.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ ЗАХОДНОЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ

Прогрессивным и экономичным методом производства ступенчатых валов и валиков является способ поперечно клиновой прокатки (ПКП).

Сущность способа заключается в поперечной прокатке инструментом, имеющим форму клина, рис. 1. (или несколько клиньев) который, внедряясь в заготовку, деформирует ее и вызывает вращение. При этом на заготовке образуется негативный профиль инструмента. Различают горячую, теплую и холодную поперечно клиновую прокатку в валках, между двумя плоскими плитами, валком и сегментом. Выбор схемы и способа прокатки определяется многими факторами: размерами и видом заготовки (диаметр, штучная заготовка, пруток, бунт), физико-механическими свойствами металла заготовки, степенью обжатия, требованиями к качеству поверхности и точности полученного изделия после прокатки и др.

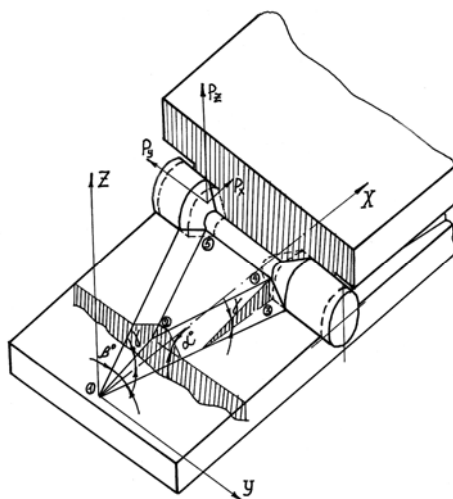


Рис. 1. Схема процесса плоской поперечно-клиновой прокатки

Основным звеном при получении качественного изделия является клиновой инструмент, а именно геометрия профиля заходной части инструмента и деформирующая поверхность клина (рис. 2, а, б, с). Образующая этой поверхности клинового инструмента представляет собой, как правило, прямую линию, наклоненную под некоторым углом α к оси заготовки. Формообразование осуществляется боковой деформирующей гранью клина, которая заставляет перемещаться металл по направлению к торцам. Интенсивность пластического формоизменения определяется углом наклона боковой деформирующей грани α и углом раскрытия клина β .

При освоении процесса холодной поперечно-клиновой прокатки (ХПКП) многие исследователи [1, 2] сталкиваются с проблемой устойчивости процесса – проскальзыванием заготовки в начальной стадии процесса поперечно клиновой прокатки (на заходном участке) и рыхлостью внутри прокатанного образца.

В литературе [2, 3] имеется ограниченное количество частных рекомендаций по устранению проскальзывания и осевого разрушения металла в процессе холодной клиновой прокатки. Суждения о механизме разрушения носят противоречивый характер, однако, влияние технологического фактора более выражено.

Геометрия профиля заходной части инструмента (углы клина α , β , γ), профиль боковой деформирующей поверхности, степень обжатия и условия трения во многом определяют

накопленную за цикл нагружения деформацию на оси заготовки, величину и знак напряжений в ней. Составляющие накопленной деформации – количество циклов нагружения (количество полуоборотов) и накопленная за этот цикл деформация зависит от одних и тех же параметров.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния геометрии профиля заходной части инструмента на устойчивость процесса холодной поперечно-клиновой прокатки.

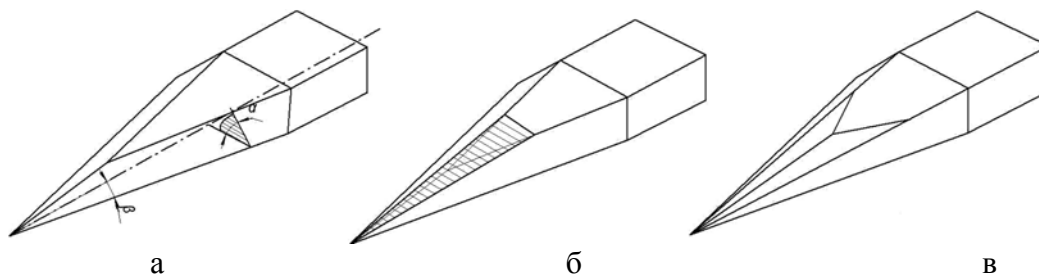


Рис. 2. Схемы профиля заходной части клинового инструмента для ХПКП:

а – стандартная, простая геометрия профиля; б – с параллельным срезом заходной части; в – с сошлифовкой наклонной грани заходного участка

В начальной стадии качения (деформации) заготовки по инструменту происходит внедрение клинового профиля инструмента в заготовку (участок захода) и далее собственно прокатка до заданного размера ступени и калибровка ее. При этом величина внедрения $\Delta Z_{i,j}$, (i – число сечения заготовки, на j – количество точек в полуокружности сечения заготовки) инструмента в тело заготовки в произвольной его точке определяется геометрией профиля, местоположением заготовки в процессе качения, жесткостью оборудования, настройкой инструмента:

$$\Delta Z_{i,j} = \Delta Z_{i,j}(\alpha, \beta, \gamma, x, y, \xi, H), \quad (1)$$

где, α, β, γ – углы клинового инструмента;

x, y – координаты, определяющие местоположение сечения заготовки;

ξ – величина упругой деформации системы инструмент – станина;

H – параметр, определяющий настройку инструмента.

Заготовка в каждом своем сечении (рис. 3) при прохождении в продольном направлении через очаг деформации неоднократно подвергается обжатю, при этом (в зависимости от геометрии профиля, шага прокатки) может попасть или не попасть на идентичную наклонную грань, где величина внедрения и степень обжатия будут другими.

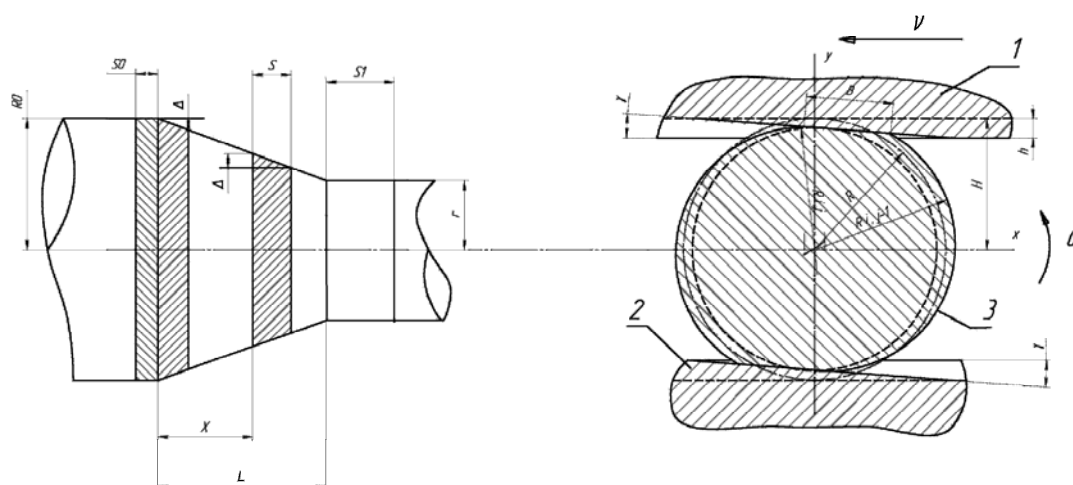


Рис. 3. Схема i -го сечения прокатываемой заготовки на наклонной деформирующей грани клина (см. рис. 1, 2):

1, 2 – верхний и нижний инструмент соответственно; 3 – прокатываемая заготовка

Таким образом, процесс клиновой прокатки следует характеризовать совокупностью единичных обжатий по сечениям, перпендикулярным оси прокатываемой заготовки:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{R_{i,j-1} - R_{i,j}}{R_{i,j-1}}, \quad (2)$$

где $R_{i,j}$ – радиус вписанной окружности в i -ом сечении на j -ом полуобороте.

При определении величины обжатия в i -ом сечении детали на j -ом полуобороте необходима информация о геометрических размерах деформируемой (прокатываемой) заготовки в каждой расчетной точке вдоль пути качения. Учет текущей формы заготовки реализуется двумерным массивом радиусов $R_{i,j}$, фиксирующим геометрию заготовки для N сечений в N_i точках полуоборота каждого сечения. В общем случае текущее значение радиуса $R_{i,j}$ определится выражением:

$$R_{i,j} = R_{i,j-1} - (\Delta Z_{i,j} - \xi_j), \quad (3)$$

где ξ_j – величина упругой деформации системы инструмент – оборудование.

С учетом настройки инструмента выражение (3) будет иметь вид:

$$R_{i,j} = (H + 0,5\xi_j - \Delta Z_{i,j}) \times \cos \gamma_i, \quad (4)$$

где γ_i – угол обжатия в i -ом сечении заготовки.

Для определения величины приращения внедрения $\Delta Z_{i,j}$ в любой произвольной точке инструмента необходимо найти функциональную связь между координатами рассматриваемого сечения и высотой профиля инструмента в этом сечении:

$$Z_{i,j} = f(x, y), \quad (5)$$

где $Z_{i,j}$ – высота профиля клина в произвольной точке;

X, Y – координаты точек в плоскости клинового инструмента.

Эту задачу решает разработанная функциональная математическая модель на основе модифицированного МКЭ и программа, моделирующая процесс ХПКП [3]. Функциональная математическая модель процесса ПКП учитывает геометрию профиля инструмента, жесткость системы инструмент – оборудование, упрочнение прокатываемого материала. Программа, моделирующая процесс ХПКП позволяет определять составляющие усилия, крутящий момент, упругие деформации стана для ПКП, среднеинтегральную накопленную деформацию вдоль пути качения заготовки по инструменту в процессе ее формоизменения (от момента захвата до выброса заготовки из рабочей зоны).

При существующей обычной форме заходного участка (рис. 1, а) и прямолинейной образующей боковой поверхности клина единичные (частные) обжатия распределяются по длине деформации неравномерно, что приводит к пикам усилий при переходе на деформирующий участок (этот участок характеризуется неустойчивым протеканием процесса – проскальзыванием заготовки), а также к ускорению разрыхления металла и даже вскрытию полости в осевой зоне прокатываемой заготовки, т. е. к браку. Кроме того, неравномерность распределения единичных обжатий приводит к неравномерному износу отдельных частей профиля клинового инструмента, его заходной части и в конечном итоге, к снижению точности прокатываемых изделий и браку.

Очевидно, что при проектировании клинового инструмента единичные обжатия должны оставаться постоянными и стремиться к минимуму в процессе прокатки заготовки вдоль пути деформирования:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{R_{i,j-1} - R_{i,j}}{R_{i,j-1}} = const \rightarrow \min. \quad (6)$$

Программа, моделирующая процесс ХПКП, позволила исследовать влияние геометрических параметров профиля инструмента на характер изменения составляющих усилия и устойчивость процесса вдоль пути качения деформируемой заготовки по инструменту. Расчеты проводились для процесса холодной ПКП изделий из сталей 35, 45 по ГОСТ 5663-90 диаметром 2,3 мм и латуни Л63 по ГОСТ 12920-67 диаметром 2,0; 2,5мм. Степень обжатия составляла не более 1,3 при податливости системы $0,0125 \leq P_z \leq 0,05M / MN$.

Углы клинового инструмента изменялись в пределах $20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$, $30^\circ \leq \beta \leq 1^\circ 30'$.

Моделированию подвергались три формы заходной части клинового инструмента. Анализ расчетных данных показал, что составляющие усилия и крутящий момент интенсивно возрастают на заходном участке клина, причем, наибольшее возрастание их имеет место в заходной зоне клина по рис. 2, а (стандартная схема) в точке перехода на другой деформирующий участок. Этот участок характеризуется неустойчивым протеканием процесса холодной ПКП – проскальзыванием заготовки. Для сглаживания пиков усилий, улучшений условий формообразования в основном применяют геометрию профиля заходной части со срезом (рис. 2, б). Однако, как показали расчеты, данная форма заходной части не позволяет существенно снизить тангенциальные усилия прокатки (имеются всплески контактных касательных напряжений в переходной зоне), что потенциально ведет к потере устойчивости процесса прокатывания. Геометрия профиля заходной части с сошлифовкой боковой грани (рис. 2, в) обеспечивает наиболее плавное изменение усилий и крутящего момента вдоль пути качения заготовки по инструменту. Кроме этого, полученный профиль боковой наклонной грани (рис. 4, сечения А-А, Б-Б) способствует уменьшению вероятности вскрытия полости при холодной поперечно клиновой прокатке [3].

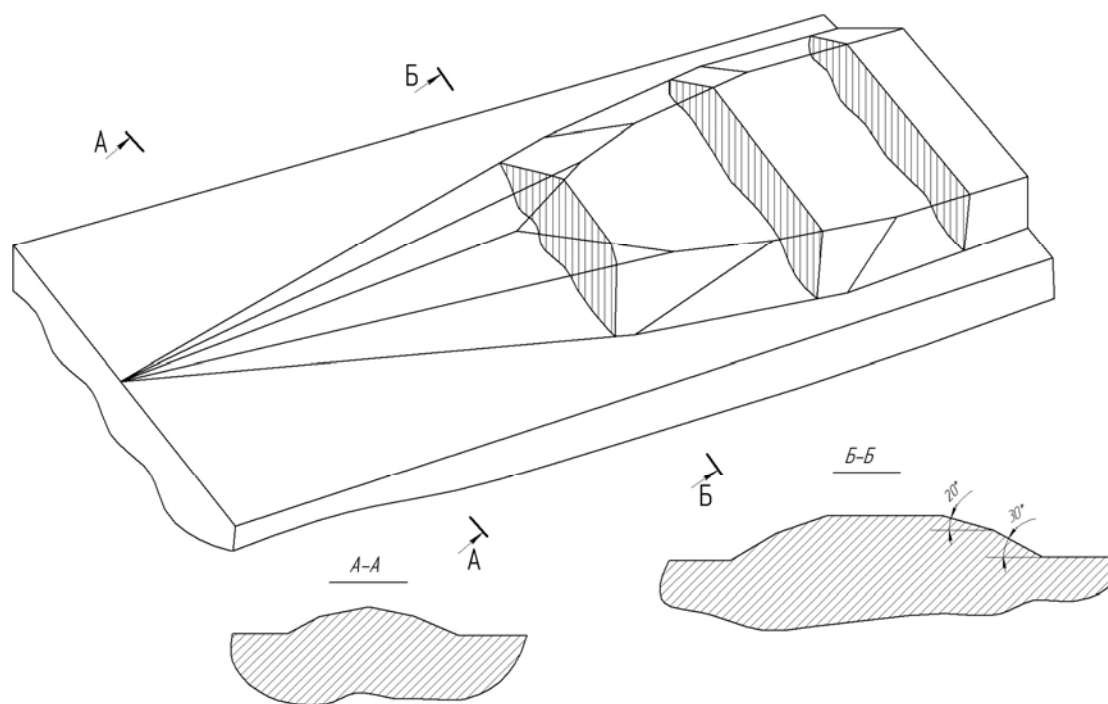


Рис. 4. Схема изменяющегося профиля клинового инструмента

Для проверки полученных расчетных данных проведены экспериментальные исследования. Прокатку образцов из стали и латуни упомянутых марок осуществляли на плоском накатном автомате А2418А и валковом стане для клиновой прокатки К09028. Анализ экспериментальных данных, полученных при прокатке заготовок из латуни Л63 на плоском инструменте с различной формой заходной части показал, что наименьшие пики усилий и лучший захват заготовки обеспечивает форма заходной части с сошлифовкой боковой наклонной грани (см. рис. 5, в). При использовании формы заходной части со срезом наблюдается

пик распорного усилия в зоне перехода на деформирующий участок. На прокатанных заготовках наблюдается шелушение и разрыхление полости внутри образца. Использование обычной формы заходной части инструмента также приводит к пикам усилий и большому износу инструмента в зоне перехода на деформирующий участок.

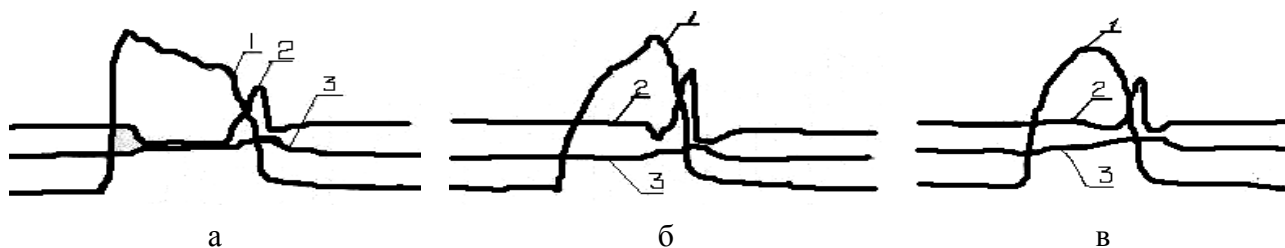


Рис. 5. Осциллограммы записи усилий прокатки:

а – обычная форма заходной части (по рис. 2, а); б – с параллельным срезом заходной части (по рис. 2, б); в – с шлифовкой боковой грани заходной части (по рис. 2, в); 1 – распорное усилие P_Z на заходном участке; 2 – распорное усилие P_Z на деформирующем и калибрующем участке; 3 – тангенциальное усилие прокатки P_X

В результате моделирования: определены оптимальные геометрические размеры клинового инструмента и форма его заходной части, позволяющие осуществлять ХПКП с наименьшими технологическими усилиями в процессе формоизменения заготовки и обеспечивающие устойчивость заготовки при деформировании. Расчет проводили для прямой последовательной клиновой прокатки в валках. Используя программу, спроектировали валковый инструмент и разработали технологию изготовления ступенчатого валика часового механизма взамен точения его на токарных автоматах.

Новый процесс реализован на комплексе ПКП А0818. В качестве исходного использовали бунтовой материал диаметром $2,3_{-0,2}$ мм.

Производительность разработанного и внедренного процесса ХПКП из прутка составила не менее 40–45 шт/мин (в зависимости от скорости вращения валков).

ВЫВОДЫ

В результате моделирования определены оптимальные геометрические размеры клинового инструмента и форма его заходной части, позволяющие осуществлять процесс холодной поперечно-клиновой прокатки с наименьшими технологическими усилиями в процессе формоизменения заготовки и обеспечивающие устойчивость заготовки при деформировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеев В. М. Холодная поперечно-клиновая прокатка ступенчатых валиков. *Материалы и технологии 21 века: сб. статей. XII Междунар. науч.-техн. конф.* / В. М. Пеев. – Пенза: Приволжский Дом знаний. – 2009.
2. Пеев В. М. Предельные возможности формоизменения при поперечно клиновой прокатке / В. М. Пеев, И. А. Церна // *Известия ТулГУ*. – Тула: ТулГУ, 2004. – Выпуск 2. – 233 с. – (Серия «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением»).
3. Щукин В. Я. Основы поперечно-клиновой прокатки / В. Я. Щукин; под ред. А. В. Степаненко. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 223 с.

Пеев В. М. – канд. техн. наук, доц. ДГТУ.

ДГТУ – Донской государственный технический университет, г. Ростов на Дону, Россия.

E-mail: v.peev2009@yandex.ru