

непрерывной холодной прокатке жести и полос толщиной до 0,5-0,8 мм, можно уменьшить удельный расход электрической энергии в среднем на 2-15 кВт·ч/т. Реализация данного технического решения позволит снизить себестоимость плоского холоднокатаного проката не менее, чем на 1,5-15 грн./т.

Выводы

1. Ранее [4] нами было установлено, что холодная прокатка с натяжением является энергетически более выгодным процессом, чем прокатка без натяжения. Поэтому при разработке режимов деформации на непрерывных станах должна учитываться энергетическая эффективность применяемых режимов натяжений.

2. Предложен новый принцип распределения относительных удельных натяжений на непрерывных станах холодной прокатки, обеспечивающий повышение энергетической эффективности данного процесса и предложена математическая модель для его реализации. В соответствии с этим принципом относительные удельные натяжения на непрерывных станах холодной прокатки должны увеличиваться от первого межклетевого промежутка к последнему.

3. Результаты расчетов энергосиловых параметров на непрерывных станах 1400, 1700 и 1680 показали, что только за счет реализации режимов натяжений, рассчитанных в соответствии с новым принципом их распределения, удельный расход электрической энергии при холодной прокатке уменьшается на 2-8 % или на 2-15 кВт·ч/т. При этом установлено, что энергетическая эффективность процесса холодной

прокатки повышается с увеличением суммарного относительного обжатия и с уменьшением толщины прокатываемой полосы.

Библиографический список

1. Василев Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали. – К.: Вища школа, 1976. – 192 с.
2. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические приложения). – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
3. Влияние толщины и относительного обжатия полосы на мощность процесса холодной прокатки с натяжением / Я.Д. Василев, Д.Н. Самокиш, Р.А. Замогильный и др. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3(32). – С. 142–147.
4. Василев Я.Д. Теоретическое исследование влияния натяжения на энергетическую эффективность процесса холодной полосовой прокатки // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 6. – С. 3-5.
5. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
6. Василев Я.Д., Коноводов Д.В., Дементиенко А.В. и др. Уточнение методики расчета энергосиловых параметров при холодной прокатке с большим градиентом удельных натяжений // Обработка материалов давлением. – 2010. – № 2(23). – С. 190-194.

Поступила 24.12.2012

УДК 621.771.23.003.1

Николаев В.А., Жученко С.В.
Запорожский НТУ

Наука

**Совершенствование регулирования поперечного профиля
полосы при горячей прокатке широких полос**

В статье проведен анализ воздействия типа профилировок валков при наличии их осевого сдвига с учетом особенностей контактирования рабочих и опорных валков. Даны технические рекомендации по улучшению профиля готовой продукции путем рационального профилирования рабочего инструмента. Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: прокатный стан, валки, неплоскостность, прогиб валков

This article analyzes the effect of rolls forming type with their axial shift taking into account the peculiarities of touchdown of working and backup rolls. Technical recommendations to improve the profile of the finished product by rational profiling of working tool are given.

Keywords: rolling mill, rolls, nonflatness, roll bending

Наличие упругих деформаций рабочих и опорных валков, а также постоянный неравномерный их износ вызывают необходимость применения предварительного профилирования образующих бочек, а также регулирование формы и размеров межвалкового зазора в процессе прокатки. На станах холодной прокатки

основным требованием к технологии является получение полос с минимальной неплоскостностью (непланшетностью), которая обуславливается неравномерным распределением деформации и продольных растягивающих натяжений по ширине полосы [1]. Исследования показывают, что в реальных условиях

прокатки, распределение продольных напряжений по ширине полосы при холодной прокатке неравномерно и различие между их величинами на кромке и в середине составляет 40-160 Н/мм² [1, 2]. Большие величины на кромке обусловлены необходимостью центрирования полосы по оси стана.

Наличие указанных напряжений и продольных деформаций на кромке полосы в ряде случаев приводит к разрывам полосы по кромкам во время прокатки, ограничивает напряжения натяжения полосы до $\sigma_H = 0,25 \sigma_T$ (σ_T – напряжение течения металла на межклетевых участках) и вызывает появление неплоскостности полосы. Выравнивание продольных растягивающих напряжений по ширине полосы на межклетевых участках является одним из необходимых условий получения полосы с неплоскостностью $\lambda < 4$ мм, что удовлетворяет требованиям потребителя готовой продукции станов холодной прокатки.

Современные непрерывные широкополосные станы оснащены каналами регулирования межвалкового зазора (многосекционное тепловое регулирование образующих бочек рабочих валков, гидроизгиб рабочих валков, перекрещивание верхней и нижней пар валков клетки кварто и осевой сдвиг рабочих валков с профилировкой бутылочного типа (технология SVC) [3]. Каждый из указанных способов имеет свои преимущества. Так, например, к достоинствам технологии SVC относят возможность оперативно воздействовать на поперечную разнотолщинность полос (при горячей прокатке) как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения толщины на кромках полосы. В меньшей степени этот способ регулирования применим для воздействия на плоскостность полос [4] (рис. 1). При осевом сдвиге рабочих валков в противоположном направлении на величину $2C = 200-300$ мм происходит одновременное изменение деформации по всей ширине полосы. При этом, например, осевой сдвиг рабочих валков по направлению стрелки «А» кромки полосы получают дополнительное обжатие, а обжатие средней части ширины полосы уменьшается. В результате полоса получает выпуклый поперечный профиль. Кроме того, при сближении точек 4 выпуклости рабочих валков контактируют с образующей 5 опорных валков, характер выработки которых способствует дополнительному изгибу краевых участков рабочих валков и дополнительному обжатию краевых участков полосы. Последнее нивелирует влияние дополнительного обжатия полосы в средней части ширины полосы и ограничивает возможность регулирования поперечного профиля полосы. В связи с указанным, рекомендации [2] о целесообразности использования технологии SVC только в первых клетях чистовой группы. Все эти особенности контактирования рабочих и опорных валков затрудняют прогнозирование программы регулирования формы полосы в процессе прокатки. Тем не менее, технология SVC широко распространена в мировой практике полосовой прокатки [3], хотя достаточное количество экспериментального материала по исследованиям этой технологии в литературе отсутствует.

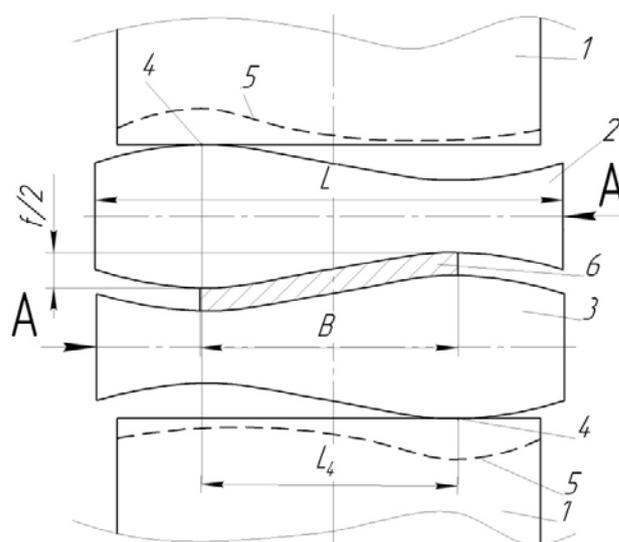


Рис. 1. Профилировка рабочих валков системы SVC (с осевым сдвигом рабочих валков): 1 – опорные цилиндрические валки; 2, 3 – рабочие валки; 4 – участки контакта с максимальным износом; 5 – предполагаемый контур образующей опорных валков после выработки; 6 – профиль межвалкового зазора; А – направление сдвига валков

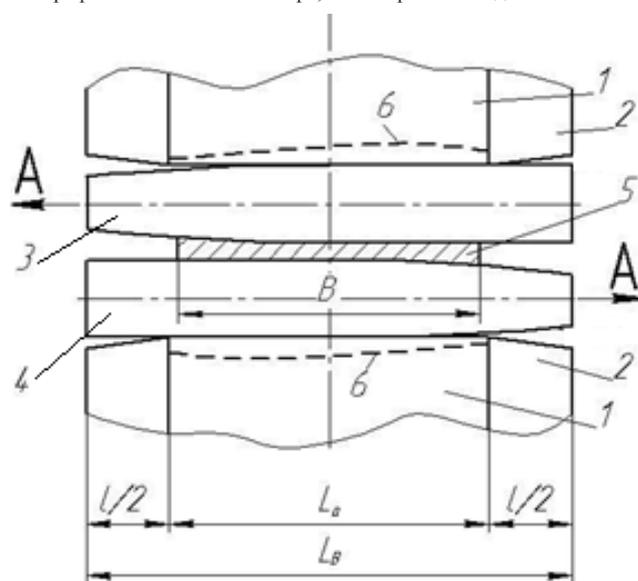


Рис. 2. Комплект опорных валков (1, 2) и рабочих (3, 4) валков клетки кварто. Участки рабочих валков: 3 – с выпуклым, 4 – с цилиндрическим профилем образующей бочек; 5 – форма межвалковой щели без нагрузки валков на ширине В; 6 – предполагаемый характер износа опорных валков.

широкополосного стана следует считать справедливым. Кроме того, наличие изгиба самих опорных валков и переменное положение участка 4 оказывает влияние на прогиб рабочих валков и на изменение межвалкового зазора на кромочных участках полосы. Тем более что параметр износа и положение линии износа (кривая 5) постоянно изменяется.

На наш взгляд, исходя из теоретических положений, для воздействия на неплоскостность и поперечную разнотолщинность полосы при осевом сдвиге рабочих валков может быть использована несимметричная профилировка образующих их бочек, предложенная в 1983 г. [2, 4]. Схема комплекта с несимметричной профилировкой рабочих валков представлена на рис. 2, в котором опорные валки имеют ци-

цилиндрический профиль образующих бочек, каждый из рабочих валков имеет на половине длины цилиндрический, а на другой половине – параболический профиль с кривизной определяемой показателем степени «n» параболы. Профилированные (выпуклые) участки рабочих валков обращены в противоположные стороны, что позволяет при осевом сдвиге рабочих валков регулировать толщину кромок. Изменение межвалкового зазора на выпуклом участке рабочего участка валка (без учёта прогибов валков) можно определить из выражения [2, 4]

$$\delta z \approx f \left[\left(\frac{B}{L} \right)^n - \left(\frac{B \mp 2c}{L} \right)^n \right], \quad (1)$$

где δz – уменьшение величины зазора между рабочим и опорным валком при изменении положения рабочего валка сдвигом; B – ширина полосы; c – величина осевого сдвига одного рабочего валка; n – показатель степени; f – выпуклость валка.

Предлагаемая профилировка работает следующим образом. В исходном положении (без нагрузки) (рис. 2) зазор на кромках полосы больше, чем в середине. При сдвиге валков по стрелке «А» рабочий диаметр валков увеличивается на кромках полосы и, в результате уменьшения зазора между рабочими и опорными валками, происходит увеличение обжатия кромок без изменения обжатия средней части ширины полосы. При осевом сдвиге рабочих валков в противоположном направлении, вследствие уменьшения рабочего диаметра валков на кромках полосы, межвалковый зазор увеличивается, а обжатие кромок уменьшается. В соответствии с указанным в выражении (1) перед параметром $2c$ знак минус принимают при сдвиге рабочих валков по направлению стрелки «А», а знак плюс при сдвиге в противоположном направлении.

Эффективность и точность регулирования поперечной разнотолщинности и неплоскостности полос можно изменить путем применения соответствующей формы образующей выпуклых частей рабочих валков (изменение показателя степени в выражении (2))

На рис. 3 видно, что форма образующих рабочих валков оказывает заметное влияние на изменение обжатия кромок полосы. Величина обжатия кромок уменьшается с уменьшением ширины полосы (при $n = const$). При этом, при использовании рабочих валков с образующей в виде биквадратичной параболы ($n = 4$), расширяется диапазон воздействия на толщину кромок (уменьшая или увеличивая их), т.е. на поперечную разнотолщинность полосы. Из выражения (2) также следует, что применение незначительного осевого сдвига рабочих валков дает возможность влиять на неплоскостность полосы. Несимметричная профилировка рабочих валков (НПРВ) обеспечивает воздействие на поперечную разнотолщинность и неплоскостность полосы через изменение обжатия только кромок полосы, в то время как в технологии SVC, при осевом сдвиге рабочих валков, валки воз-

действуют на полосу по всей её ширине, что требует значительно большего сдвига рабочих валков и ухудшает условия воздействия на полосу. Кроме того, форма образующих рабочих валков при НПРВ уменьшает неравномерность износа опорных валков вследствие отсутствия выпуклых вершин.

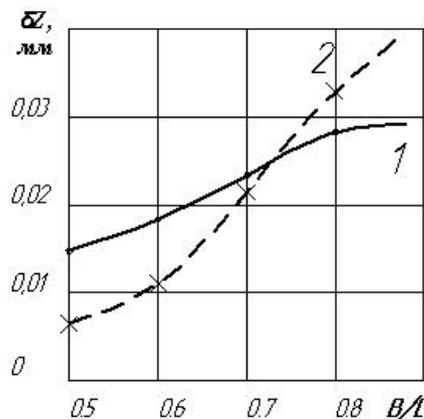


Рис. 3. Изменение параметра δz в зависимости от B/L при сдвиге рабочих валков в направлении стрелки «А» (рис. 2) ($L = 1700$ мм, $f = 0,3$ мм, $2c = 100$ мм при n : 1 - 2,0; 2 - 4,0

Общим недостатком способов и устройств для регулирования поперечного профиля полосы на рис. 1, 2 является усложнение конструкции рабочей клетки и необходимость переноса привода с рабочих на опорные валки.

Для воздействия на плоскостность полосы применяют гидравлическое устройство противоизгиба (изгиба) рабочих валков, которые широко применяют на широкополосных станах горячей и холодной прокатки. Использование этих устройств приводит к увеличению силы действующей на детали клетки, валки и подшипники валков. Кроме того, эффективность регулирования межвалкового зазора снижается вследствие высокой жёсткости опорных узлов рабочих, а также опорных валков клетки, против изгиба вдоль бочек валков. Снижение жесткости одного из опорных валков (нижнего), как показали теоретические расчёты, лабораторные и промышленные эксперименты существенно улучшает возможности воздействия на межвалковый зазор [5].

Недостатком уравнивающих устройств подушек рабочих и опорных валков является конструкция плунжеров гидравлических устройств, с плоской формой торцевых поверхностей, которые препятствуют свободному развороту шеек валков относительно вертикальной плоскости. Для исключения негативного влияния такого контакта рекомендуется торцевые контактные поверхности плунжеров уравнивания опорных и рабочих валков выполнять в виде сферической поверхности (рис. 4) [6]. При такой конструкции контактных участков (A_1, A_2 и B_1, B_2) отсутствует защемление шеек валков в подшипниках (подушках) и уменьшается сопротивление изгибу валков и регулированию межвалкового зазора.

Аналогичным образом, предполагаемая конструкция плунжеров подушек рабочих валков улучшает условия регулирования межвалкового зазора, точность и форму полосы.

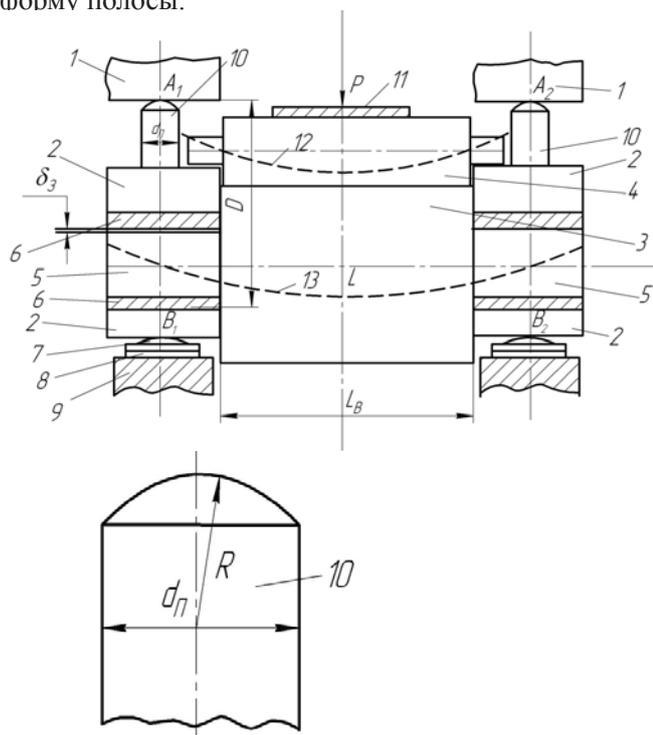


Рис. 4 Комплект валков и подушек со сферическими плунжерами: 1 – лапы верхних подушек опорного валка; 2 – лапы подушек нижнего опорного валка; 3 – нижний опорный валок; 4 – нижний рабочий валок; 5 – шейка опорного валка; 6 – подшипник; 7 – прокладка с параболической формой поверхности; 8 – прокладка; 9 – нижняя поперечина станины; 10 – плунжер со сферической формой торца; 11 – полоса; 12 – линия прогиба рабочего валка; 13 – линия прогиба опорного валка (P – сила прокатки; d_n – диаметр плунжера; R – радиус сферической поверхности торца плунжера; $R = 200-500$ мм)

В исследовании [1 и др.] установлено, что продольные растягивающие напряжения в полосе при холодной прокатке на межклетевых участках и при смотке на моталку максимальны на кромках. Это способствует получению неплоской полосы и ограничивает по ширине средние величины напряжений. На некоторых станах контроль распределения натяжения по ширине полосы после чистовой клетки выполняют секционными тензороликами (роликами-стрессометрами) [1]. Показания с тензороликов через управляющие системы передаются на устройства регулирования межвалкового зазора для получения ровной полосы. На других участках стана регулирование межвалкового зазора выполняют, как правило, в ручном режиме.

Следует отметить, что даже при наличии тензометрического ролика за чистовой клетью и известных каналов регулирования межвалкового зазора не во всех случаях удается получить готовую полосу с неплоскостью $\lambda \leq 4$ мм. В связи с этим дополнительным каналом регулирования может быть использовано устройство с разнопрофильными обводными роликами [2, 7] (рис. 5).

На рис. 5а, показана прокатная клеть 1, обводные ролики 2, 3 гидропривод 4 для вертикального пере-

мещения ролика 2 и моталка 5 для смотки полосы 6 в рулон. Измерение распределения напряжений натяжения выполняется тензометром 7, который расположен по ширине полосы. На рис. 5б показана форма образующих бочек роликов 2, 3 параболического вида. Ролик 2 может быть цельным или секционным по длине. Сигнал с датчика 7 о характере распределения продольных напряжений передается в электронную систему, которая управляет перемещением ролика 2 при помощи гидропривода 4 вверх или вниз.

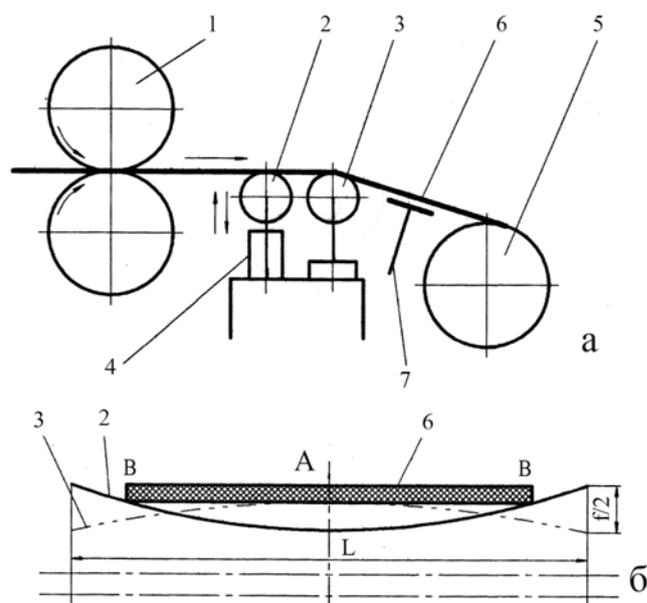


Рис. 5. Устройство регулирования формы полосы при холодной прокатке: 1 - чистовая клеть; 2 - подвижный ролик; 3 - стационарный ролик; 4 - гидропривод; 5 - моталка; 6 - полоса; 7 - измеритель напряжений (а - схема устройства; б - схема контактирования полосы с роликом)

При прокатке полосы 6 датчик 7 показывает, например, наличие больших натяжений на участке «А», что отвечает получению полосы с волнистостью. В этом случае управляющая система выдает команду на подъем ролика 2 до контакта с участками «В» для получения эюры с равномерным распределением продольных напряжений. Если максимальные напряжения растяжения действуют на участках «В» (коробоватость) ролик 2 опускают вниз, уменьшая при этом растягивающие напряжения и обжатия на кромках полосы в направлении выравнивания продольных напряжений по ширине полосы. Равномерное распределение напряжений растяжения по ширине полосы обеспечивает получение планшетной полосы. Это также обеспечивает равномерное распределение межвитковых напряжений при смотке полосы в рулон моталкой 5, что предотвращает слипание-сваривание витков рулона при безокислительном их отжиге и образование дефекта «излом» при дрессировке полосы.

Выводы

Выполнен анализ воздействия типа профилировок рабочих валков при наличии их осевого сдвига. Показано, что более рациональным является несимметричная профилировка рабочих валков (НПРВ),

обеспечивающая меньшую неравномерность износа опорных валков. В качестве самостоятельного дополнительного канала воздействия на плоскостность полосы предложено устройство регулирования формы полосы.

Библиографический список

1. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
2. Николаев В.А., Путники А.Ю. Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах. – Запорожье: Дикое поле, 2011. – 180 с.
3. Ганжин В.Г., Киселев Ю.А. Технология XXI века. Перспективы России // Национальная металлургия. – 2003. - № 12. – С. 50-66.
4. Николаев В.А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2007. - № 2. – С. 34-37.

5. Николаев В.А. Прогиб опорного валка четырёхвалковой клетки с учётом опорного момента // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. - № 9. - С. 18-19.

6. Пат. № 69571 України на корисну модель, В 21 В27/00. Комплект подушок валків листопрокатної кліті / Ніколаєв В.О., Ніколаєв О.В., Ніколенко А.Г., Мацко С.Г., Васильєв А.О., Васильєв О.Г.; заяв. і патентовласник Ніколаєв В.О., Ніколаєв О.В., Ніколенко А.Г., Мацко С.Г., Васильєв А.О., Васильєв О.Г.; заявл. 10.05.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

7. Николаев В.А., Жученко С.В. Регулирование плоскостности полос при холодной прокатке роликowymi устройствами // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2011. - № 7. – С. 235-237.

Поступила 15.10.2012

УДК 621.735.3

Жбанков Я.Г. /к.т.н./

ДГМА

Наука

Интенсификация сдвиговых деформаций при ковке заготовок с неоднородным температурным полем

Предложен новый способковки заготовок с неоднородным температурным полем, позволяющий повысить в заготовке уровень сдвиговых деформаций. Методом конечных элементов проведено моделирование процесса охлаждения заготовки, с различными условиями для получения неоднородного температурного поля специальной формы в поперечном сечении заготовки. Проведено моделированиековки заготовки с неоднородным температурным полем плоскими бойками. Установлено влияние размеров температурного поля и перепада температур на напряженно-деформированное состояние заготовки и определена величина низкотемпературной зоны и угол кантовки заготовки в плоских бойках после охлаждения. Ил. 7. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: протяжка, ковка, метод конечных элементов, моделирование, интенсивность деформаций, сдвиговые деформации неоднородное температурное поле

The new scheme of billets forging with inhomogeneous temperature field allowing to increase the level of shear strain in the billet is offered. Modeling of the process of billet cooling with different conditions for obtaining non-homogeneous temperature field of special shape in the billet cross section is performed by finite elements method. The simulation of billets forging with non-uniform temperature field with flat dies was performed. The influence of temperature field and temperature differences on stress condition of the billet is observed. The value of low temperature zone and tilting angle of the billet in the flat dies after cooling are determined. They provide the highest level of shear strain.

Keywords: drawing, forging, finite elements method, simulation, deformation intensity, shear strain, nonhomogeneous temperature field

Обеспечение интенсивных сдвиговых деформаций в заготовке при обработке металлов давлением позволяет получать высокие механические свойства конечного изделия. При ковке крупных поковок, интенсивных сдвиговых деформаций можно достигать на основековки в инструменте специальной формы

[1]. Так, сдвиговые деформации в заготовке достигаются протяжкой в бойках с дополнительным продольным смещением [2], ковкой в комбинированных и вырезных бойках несимметричной формы [3], ковкой в скрещивающихся бойках [4] и протяжкой с продольным смещением заготовки [5]. Кроме этого