

УДК 669.7.018

© 2010 г. С.П. Буркин, Я.А. Брынских

ПРЕССОВАНИЕ ТРУБ С НЕОКИСЛЕННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ¹

Теплообменные трубы из нержавеющей стали аустенитного класса в современных промышленных условиях изготавливаются из непрерывнолитых или горячекатаных заготовок по следующей технологии. Сплошная заготовка круглого или квадратного сечения разрезается на сравнительно короткие (1000 – 1200 мм) куски, которые сверлятся вдоль оси и затем подвергаются всесторонней механической обработке под последующую холодную многостадийную прокатку на станах ХПТ.

В современных технологиях совмещаются процессы литья, прессования и редуционно-растяжной прокатки. Полая заготовка формируется намораживанием на расходоуемый трубчатый водоохлаждаемый кристаллизатор, изготовленный из той же стали, что и будущая труба. Затем полая литая заготовка подвергается прямому прессованию на горизонтальном прессе с независимой прошивной системой. При этом прессование трубной заготовки выполняется с концевыми пробками, герметизирующими полость и предотвращающими окисление внутренней поверхности горячепрессованной заготовки. На выходе по оси установлен редуционно-растяжной стан, прокатывающий трубу с прессового нагрева до предготовых размеров. При прокатке контролируется температурно-скоростной режим и обеспечивается возможность проводить закалку трубы на выходе стана. Пробки удаляются после охлаждения. Далее труба волочением или холодной прокаткой на ХПТР приобретает готовые размеры. Выбором конечного обжатия обеспечивается требуемая нагартовка металла.

Настоящая работа посвящена определению рациональных параметров управления приводами прошивной системы при формировании концевых пробок в условиях горячего прессования со сравнительно большими скоростями 250 – 300 мм/с.

Когда скорость прессования мала, например при изготовлении профилей из алюминиевых сплавов, особых проблем с формированием концевых пробок не возникает, поскольку длительность ввода и вывода оправки из матрицы даже при сравнительно малой скорости ее перемещения сравнительно невелика, что обеспечивает достаточно резкий перепад размеров сечений пробки и трубы. При прессовании стали реальные расходы рабочей жидкости в системе привода независимой прошивной системы не позволяют быстро произвести ввод оправки в матрицу, поэтому переходный процесс выражается формированием достаточно длинной по-

лой части пробки. В итоге расход металла на концевую обрезь порой оказывается соизмерим с массой деловой части пресс-изделия. В процессе движения оправки относительно калибрующей части матрицы непрерывно изменяется диаметр полости. Закрытие полости и прессование собственно пробки возможны лишь при определенном удалении рабочей части оправки (иглы) от зеркала матрицы. Чем больше это расстояние, тем длительней переходный процесс и больше длина пробки.

Зависимость параметров формоизменения металла от осевого положения оправки изучалась теоретически методом конечных элементов. Ставились связанные задачи для определения как параметров напряженно-деформированного состояния, так и температурных полей в объемах заготовки и инструмента. Процесс горячего прямого прессования аустенитной стали марки 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632) анализировался с использованием прессовой наладки из стали марки 5ХНМ (ГОСТ 5950), предварительно нагретой до температуры 400 °С. Слиток диам. $2R_x = 200$ мм и длиной $L_x = 300$ мм прессовался со скоростью 250 мм/с с получением трубной заготовки диаметром $2R_u = 32$ мм со стенкой 6 мм. Высота пресс-остатка составляла 50 мм. Оправка диаметром $2R_{оп} = 40$ мм снабжена калибровочной концевой частью длиной 50 мм и диаметром $2R_n = 20$ мм с радиальным торцом. Матрица – плоская с калибрующим пояском длиной 10 мм и со скруглением входной кромки радиусом 3 мм. Ввод и вывод оправки осуществлялся с шагом 2 мм. За нулевое положение оправки принято совпадение зеркала матрицы с плоскостью сечения концевой части оправки, отделяющей цилиндрическую и радиальную части.

Температура заготовки после завершения распрессовки 1100 °С. Температурные граничные условия заданы коэффициентом теплоотдачи равным 20 кВт/(м² К), на всех контактных поверхностях. Коэффициент трения по закону Зибеля принимался на всех поверхностях инструмента одинаковым и равным 0,9.

Для точного описания формоизменения и параметров напряженно-деформированного состояния использовали процедуру последовательного сгущения сетки конечных элементов в зоне матрицы до достижения стабилизации результатов решения.

Картина формоизменения при различных осевых положениях оправки представлена на рис. 1. За положительное направление принято смещение иглы против направления прессования.

¹ Работа подготовлена по результатам выполнения Государственного контракта № 02.740.11.0152 в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

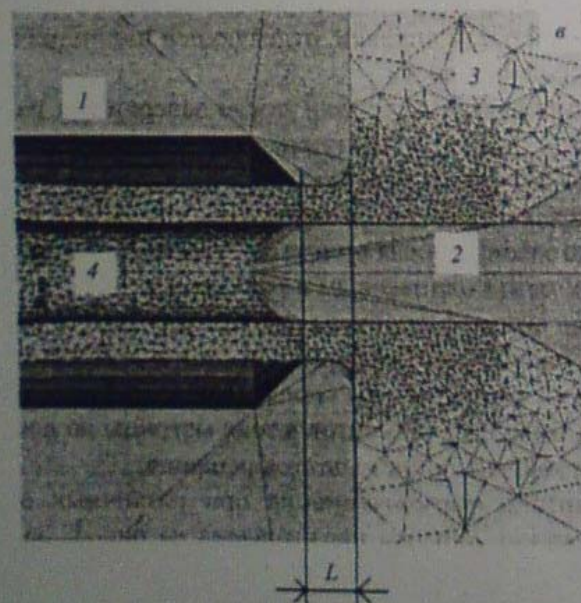
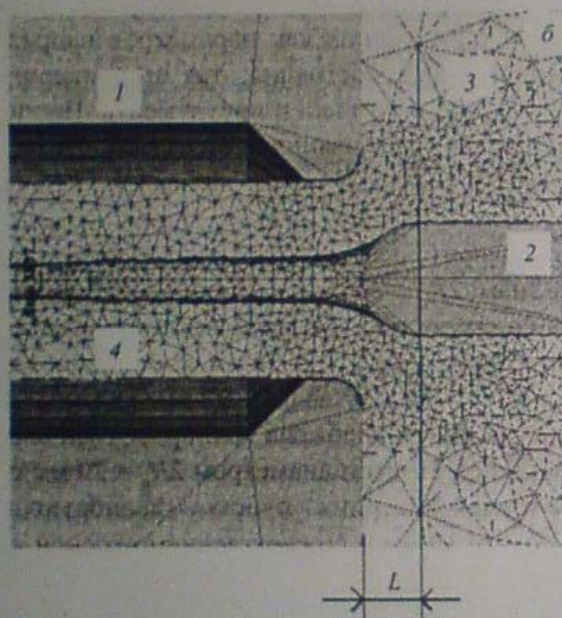
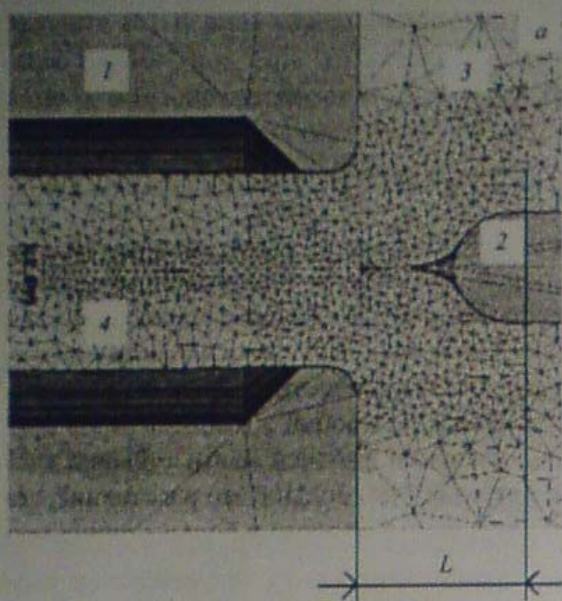


Рис. 1. Формоизменение профиля при различных осевых положениях оправки и смещениях игл 25 мм (а), 10 мм (б), -10 мм (в): 1 - матрица; 2 - оправка; 3 - заготовка; 4 - прессуемый профиль.

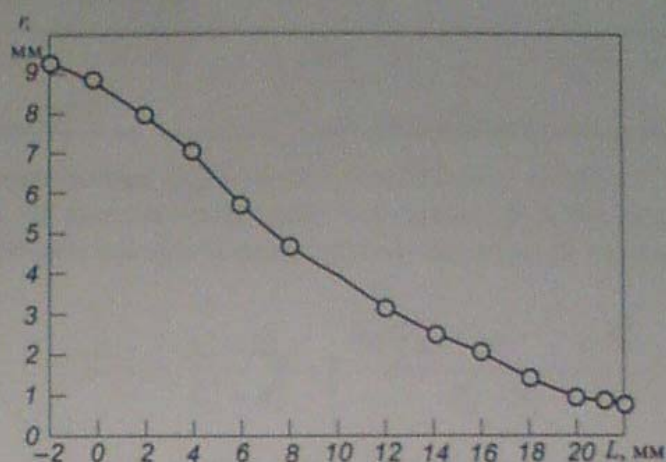


Рис. 2. Зависимость радиуса сечения полости прессуемого профиля от осевого положения оправки относительно матриц

В результате решения установлены крайние осевые положения оправки по отношению к матрице, определяющие настройку на прессование сплошного профиля (рис. 1, а) и трубной заготовки (рис. 1, в) с диаметром полости $d_0 = 2r_0 = 20$ мм. Зависимость параметра r от смещения L иглы достаточно близка к линейной (рис. 2), и может быть представлена в виде $r = KL$. В общем случае коэффициент K зависит от коэффициента вытяжки, от соотношения диаметров иглы и матрицы, а также в небольшой степени от свойств прессуемого металла и температурно-скоростных условий прессования.

При произвольном положении оправки, заданном координатой L , площадь сечения прессуемого профиля составит $F = \pi(R_M^2 - K^2L^2)$, где R_M - радиус сечения калибрующей части матрицы, и прессование осуществляется с коэффициентом вытяжки $\lambda = \frac{R_K^2 - R_{оп}^2}{R_M^2 - K^2L^2}$, где

R_K и $R_{оп}$ - радиусы сечений контейнера и тела оправки соответственно. Следует отметить, что внутренний диаметр литой полой заготовки должен быть равен или по крайней мере близок величине $2R_{оп}$. Можно рекомендовать использование слитков, у которых диаметр полости несколько меньше диаметра тела оправки. При вводе такой оправки скалпированием удаляется окисленный слой металла, который в начальном периоде прессования локализуется в передней пробке и удаляется в последующих переделах.

Формируемые при прессовании трубной заготовки концевые пробки имеют две части: сплошную длиной $L_{сп}$ и полую с каналом переменного сечения длиной $L_{пр}$. Сплошная часть пробки прессуется со скоростью истечения $V_c = V_0 \frac{R_K^2 - R_{оп}^2}{R_M^2}$, где V_0 - скорость прессования, а полая - со скоростью $V_{п} = \frac{V_0(R_K^2 - R_{оп}^2)}{R_M^2 - K^2L^2}$. Длина полой части пробки определяется из выражения

$$l_{\text{пр}} = \int_0^{L_{\text{max}}} \frac{V_0 (R_k^2 - R_{\text{оп}}^2) dL}{R_M^2 - K^2 L^2 V_n}, \quad (1)$$

где V_n – осевая скорость подачи оправки при формировании пробок.

Из уравнения (1) следует, что длина полый части одной пробки равна

$$l_{\text{пр}} = \frac{R_k^2 - R_{\text{оп}}^2}{2KR_M} \frac{V_0}{V_n} \ln \frac{R_M + KL_{\text{max}}}{R_M - KL_{\text{max}}}. \quad (2)$$

Наибольшее влияние на длину полый части трубной заготовки и, следовательно, на объем металлоотходов оказывает соотношение скоростей V_0/V_n . Эта длина может быть весьма большой при недостаточном расходе рабочей жидкости в приводе прошивной системы. Для описанного случая прессования трубы 32×6 мм со скоростью 250 мм/с и с коэффициентом вытяжки $\lambda_T = 61$, даже при условии, что отношение $V_0/V_n = 1$, длина полый части одной пробки составляет 1326 мм и меняется пропорционально отношению скоростей.

Если объем полый части пробки с достаточной для технологических расчетов точностью представим выражением $U_{\text{п}} = \pi l_{\text{пр}} (R_M^2 - R_n^2/3)$, то объем деловой части слитка, из которой прессуется труба, равен

$$U_T = \pi (R_k^2 - R_{\text{оп}}^2) L_k - 2\pi \left[R_M^2 (L_{\text{пр}} + l_{\text{пр}}) - \frac{1}{3} l_{\text{пр}} R_n^2 \right],$$

где $L_k = L_0 - L_{\text{по}}$; L_0 – исходная длина распрессованного слитка; $L_{\text{по}}$ – высота (длина) пресс-остатка.

В итоге по завершении прессования и удаления пробок готовая прессованная трубная заготовка имеет длину

$$L_T = L_k \frac{R_k^2 - R_{\text{оп}}^2}{R_M^2 - R_n^2} - 2 \frac{R_M^2 (L_{\text{пр}} + l_{\text{пр}}) - \frac{1}{3} l_{\text{пр}} R_n^2}{R_M^2 - R_n^2}.$$

При прессовании трубы 32×6 мм из заготовки коррозионностойкой стали диам. 200 мм и длиной 300 мм с полостью диам. 40 мм со скоростью 250 мм/с и при условии $V_0/V_n = 1$ общая длина прессованного профиля составляет 13490 мм. При этом суммарная длина пробок равна 3652 мм. Если же скорость движения оправки независимой прошивной системы вдвое меньше скорости прессования, возможно получение трубы длиной всего 6044 мм. Следовательно, почти половина металла уходит в обрезь.

Выводы. Рекомендовано изменение конструкции независимой прошивной системы трубо-профильного прессы с целью увеличения скорости перемещения иглы и ее фиксации в крайних положениях, определяющих настройки на прессование сплошной и полый частей профиля.

Уральский государственный технический университет-УПИ.
Поступила 30 марта 2010 г.