

УДК 621.771

Найзабеков А. Б.
Лежнев С. Н.

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С СУБУЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Исследования и разработки, направленные на получение высокопрочных металлов и сплавов, в настоящее время представляют большой научный и практический интерес. Получение новых уникальных свойств металлов возможно добиться уменьшением зерна за счет реализации интенсивной пластической деформацией во всем объеме деформируемой заготовки.

В настоящее время существует ряд процессов обработки металлов давлением, направленных на получение металла с субультрамелкозернистой структурой, основным принципом которых является реализация в процессе деформирования во всем объеме интенсивных пластических деформаций [1–3]. Одним из таких способов является прессование заготовок в матрицах различных конструкций, в частности, в равноканальной ступенчатой матрице [1] (рис. 1).

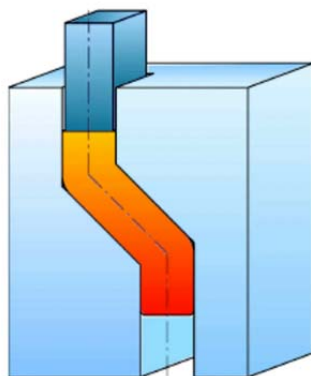


Рис. 1. Схема ступенчатого углового прессования

Данный способ прессования позволяет реализовывать в металле интенсивную пластическую деформацию без существенных изменений исходных размеров поперечного сечения заготовки. Однако данный способ имеет существенный недостаток – данным способом нельзя деформировать длинномерные заготовки. Длина исходных заготовок будет ограничиваться рабочим пространством кузнечного инструмента, в частности, рабочим ходом пуансона на прессе. Так же к недостаткам данного способа деформирования можно отнести и то, что он не обеспечивает непрерывность процесса прессования.

Целью работы является разработка технологии обработки металлов давлением, позволяющей получать заготовки с субультрамелкозернистой структурой, обеспечивающей непрерывность процесса и снятие ограничений по размерам исходных заготовок.

Для решения этой задачи на кафедре ОМД Карагандинского государственного индустриального университета был разработан совмещенный процесс «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы (рис. 2), который, по сравнению с обычным прессованием в равноканальной ступенчатой матрице [1], частично снимает ограничения по размерам исходных заготовок.

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно нагретая до температуры начала деформирования заготовка подается к прокатным валкам, которые за счет сил контактного трения захватывают её в зев валков, а на выходе из него проталкивают через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. После того, как

заготовка полностью выйдет из зева валков, к ним подается следующая заготовка, которая, пройдя через валки и попав в матрицу, выталкивает ранее продеформированную заготовку из матрицы. То есть в данном случае процесс прессования заготовок в равноканальной ступенчатой матрице реализуется за счет использования контактных сил трения, возникающих на поверхности контакта металла с вращающимися валками. При осуществлении данного процесса могут применяться как гладкие (рис. 2, а), так и калиброванные валки (рис. 2, б). При этом проведенный сравнительный анализ [4] использования гладких и калиброванных валков для реализации совмещенного процесса «прокатка-прессование» показал, что использование калиброванных валков является наиболее оптимальным решением, т. к. в этом случае требуется меньшая величина абсолютного обжатия заготовки при прокатке для того, чтобы протолкнуть ее через каналы матрицы, а так же появляется возможность контролировать уширение заготовки при прокатке ее в валках [4]. Поэтому дальнейшая разработка совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы велась именно в направлении использования калиброванных валков.

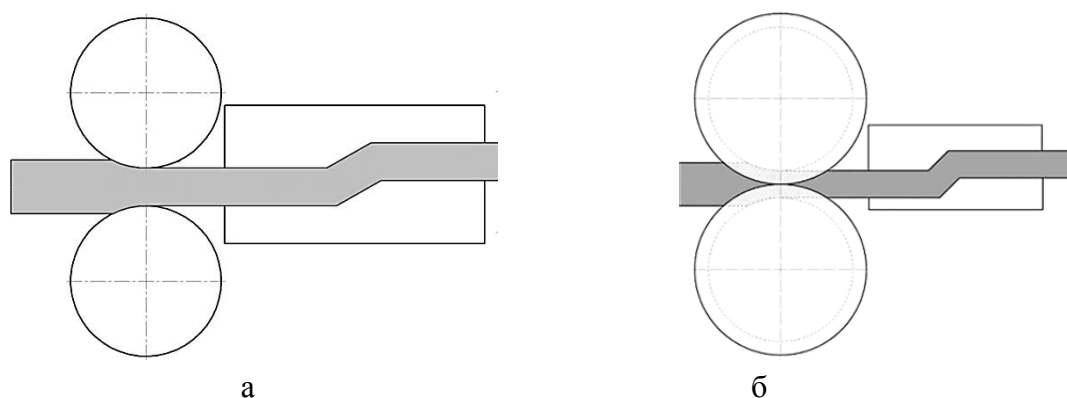


Рис. 2. Схема совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы:

а – с использованием гладких валков; б – с использованием калиброванных валков

Как уже отмечалось выше, данный способ деформирования заготовок обладает рядом преимуществ по сравнению с ранее известными способами прессования, однако в нем имеется один значительный недостаток – он, все-таки, не обеспечивает непрерывность процесса, т. е. при деформировании партии заготовок последующая заготовка будет выталкивать предыдущую. Но в конце работы в матрице останется последняя, недодеформированная заготовка. Для устранения этого недостатка была предложена следующая схема совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы (рис. 3).

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно нагретая до температуры начала деформирования заготовка подается к прокатным валкам, которые за счет сил контактного трения захватывают её в зев валков, а на выходе из него проталкивают через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. После того, как заготовка полностью выйдет из каналов матрицы, она захватывается второй парой валков, которые также за счет контактных сил трения захватывают заготовку в зев второй пары валков и полностью вытягивают заготовку из каналов матрицы.

То есть данная технология позволяет решить поставленные перед нами задачи, так как при реализации данного совмещенного процесса по предложенной схеме обеспечивается непрерывность процесса и снимаются ограничения по размерам исходных заготовок.

Для подтверждения возможности осуществления данного совмещенного процесса на практике с теоретической точки зрения в работах [5–6] были проведены теоретические исследования данного процесса, в ходе которого были получены теоретические зависимости для определения сил подпора в равноканальной ступенчатой матрице при проталкивании

заготовки в нее за счет активных сил трения, создаваемых валками, и проведен кинематический расчет данной совмещенной технологии. На основании этих исследований была создана программа, которая позволяет определять рациональные геометрические и технологические параметры этого процесса для осуществления деформирования заготовок квадратного и прямоугольного поперечного сечения любых размеров. Если деформирование какого-либо профилеразмера невозможно, то программа выдает сообщение об этом.

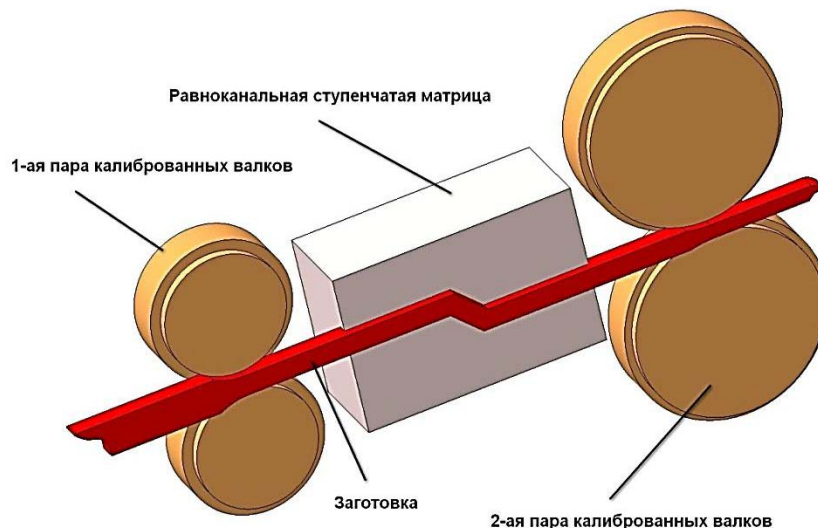


Рис. 3. Совмещенный процесс «прокатка-прессование»

Помимо этого, было проведено моделирование процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы [7]. Моделирование процесса «прокатка-прессование» проводили в программном комплексе Deform-3D. После окончания расчета и просмотра результатов модель считалась удачной, если заготовка захватывалась и прокатывалась в первой паре валков, затем с их помощью проталкивалась через все каналы матрицы, а при выходе из нее захватывалась второй парой валков и полностью вытягивалась из матрицы (рис. 4).

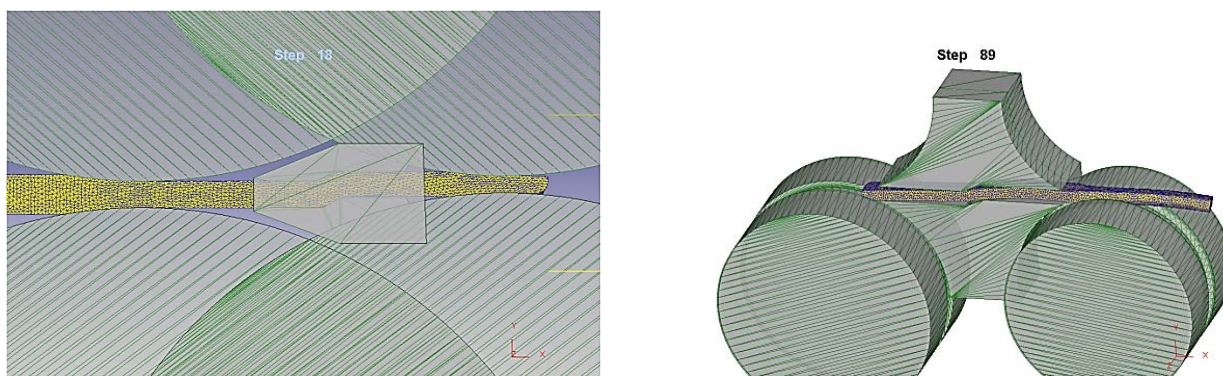


Рис. 4. Успешные модели

Анализ влияния различных факторов на условие протекания данного процесса показал, что такие факторы как угол стыка каналов матрицы, коэффициент трения, температура, протяженность каналов матрицы оказывают существенное влияние на возможность осуществления совмещенного процесса «прокатка-прессование». И только выбор рациональных режимов деформирования для заданного профилеразмера заготовки и учет всех факторов позволит осуществить этот сложный процесс. Для этого были составлены таблицы рациональных геометрических и технологических параметров для различных поперечных сечений

заготовок. Данные таблицы позволяют точно подобрать значения всех необходимых параметров для осуществления процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы.

После того, как была получена успешная модель совмещенного процесса «прокатка-прессование», было решено провести исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) деформируемой заготовки при реализации данного процесса. Это связано с тем, что исследования напряженного состояния позволяют изучить распределение напряжений во всем объеме заготовки при деформировании, а также выявить те зоны, которые в большей мере подвержены образованию дефектов вследствие возникновения в них больших растягивающих напряжений. Это дает возможность внести необходимые коррективы для снижения интенсивности действия растягивающих напряжений и, как следствие, предотвратить образование дефектов. А исследования деформированного состояния позволяет изучить распределение накопленной деформации во всем объеме заготовки при деформировании и выявить те зоны, которые в большей мере подвержены деформации. На основе этого можно определить рациональные как геометрические, так и технологические параметры деформирования.

Для анализа НДС на данных этапах были исследованы следующие параметры: эквивалентная деформация $\varepsilon_{экв}$; эквивалентное напряжение $\sigma_{экв}$; главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Исследование НДС металла при реализации совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков так же производили с помощью программы Deform-3D (США). Данный анализ показал, что при деформировании заготовок с помощью совмещенного процесса «прокатка-прессование» реализуется благоприятное НДС для получения металла с субультрамелкозернистой структурой.

Также, помимо НДС, были исследованы температурные условия протекания данного совмещенного процесса [8]. После окончания расчета на заготовке в зоне выхода из второй пары валков делался поперечный разрез и проводилось исследование распределения температуры по сечению. Выбор зоны изучения температуры был обусловлен тем, что именно на выходе из второй пары валков заготовка будет иметь наименьшую температуру, и поэтому в этих валках условия деформирования более жесткие, чем в первой паре или в матрице. Была получена следующая картина распределения температуры по сечению заготовки (рис. 5).

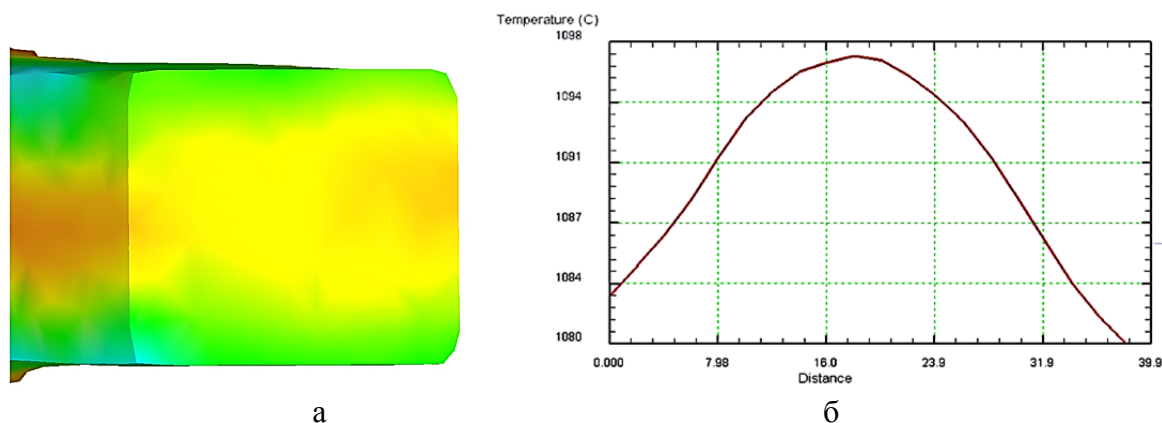


Рис. 5. Распределение температуры по сечению заготовки

Анализ полученных результатов моделирования показал, что распределение температуры по сечению заготовки носит неравномерный характер (рис. 5, б).

Большая разность температур (до 40°) может привести к неоднородности физических свойств. Поэтому для выравнивания разности температуры по сечению рекомендуется осуществлять предварительный подогрев матрицы.

С целью выявления влияния новой совмещенной схемы деформирования «прессование-волочение» на эволюции микроструктуры нами при помощи приложения Microstructure программного комплекса Deform-2D/3D было проведено исследование изменения

микроструктуры происходящего в процессе деформирования в сравнении с действующей технологией прессования в равноканальной ступенчатой матрице. Данные исследования показали, что при обычном прессовании заготовок в равноканальной ступенчатой матрице для получения субультрамелкозернистой структуры необходимо осуществить не менее 9 циклов деформирования. При реализации же совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы за счет дополнительной деформации заготовки в калиброванных валках создаются благоприятные условия для формирования субультрамелкозернистой структуры уже после шести-семи проходов, что все еще велико. Поэтому основным приоритетным направлением дальнейшей разработки данного способа деформирования заготовок является снижение количества циклов деформирования, необходимых для получения субультрамелкозернистой структуры и повышение его производительности.

В связи с этим, на кафедре ОМД Карагандинского государственного индустриального университета было предложено два направления развития данной схемы деформирования:

1) осуществление кантовки заготовки. Сущность данного метода заключается в том, что после того, как вторая пара валков вытянет заготовку из матрицы, она кантуется на 90° и снова подается в первую пару валков. Таким образом в заготовке будут реализовываться сдвиговые деформации не только по ширине, но и по толщине. Однако это приведет к повышению трудоемкости процесса и нарушению непрерывности.

2) установка после второй пары валков еще одной матрицы с зеркально противоположным расположением каналов относительно первой матрицы, а на выходе из нее – третьей пары калиброванных валков (рис. 6).

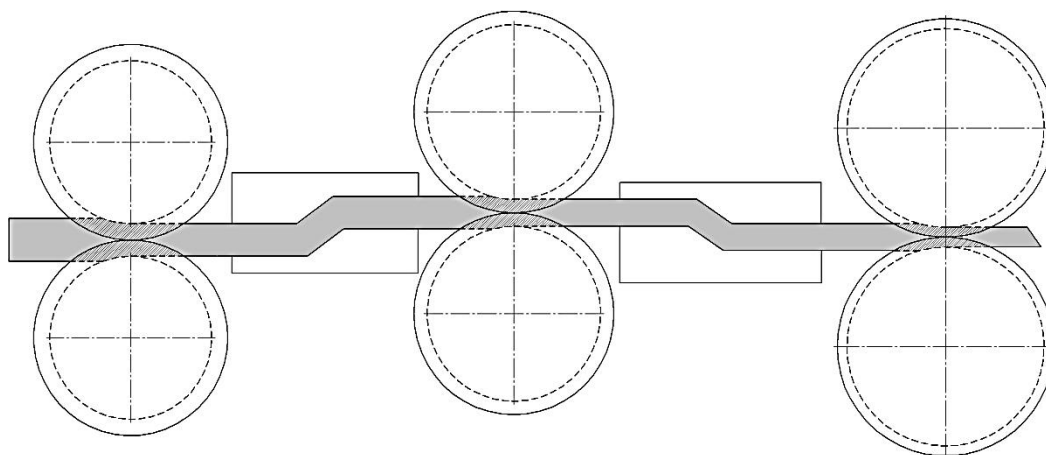


Рис. 6. Новая схема совмещенного процесса «прокатка-прессование»

В этом случае, помимо сдвиговых деформаций на стыках каналов в матрицах, заготовка будет подвергаться двум типам знакопеременного деформирования. Первый тип знакопеременного деформирования – это изменение направления течения металла при последовательном прохождении каналов в матрице. Второй тип – это изменение направления наклона каналов в матрице (сначала «снизу вверх», затем «сверху вниз»). Данная схема деформирования равносильна кантовке заготовки на 180 градусов, но в этом случае трудоемкость и непрерывность процесса остаются неизменными.

В настоящее время на кафедре «ОМД» уже сконструирована установка для реализации совмещенного процесса «прессование – волочение» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков (рис. 7), которая будет установлена в кузнечно-прессовом участке Механического цеха АО «АрселорМиттал Темиртау». Планируется, что данная установка будет использоваться для решения нужд комбината в оснащении его вспомогательных цехов заготовками из обычных углеродистых и низколегированных марок сталей с высокими механическими свойствами, которые будут достигнуты за счет измельчения исходной структуры в ходе реализации предлагаемой совмещенной технологии деформирования.

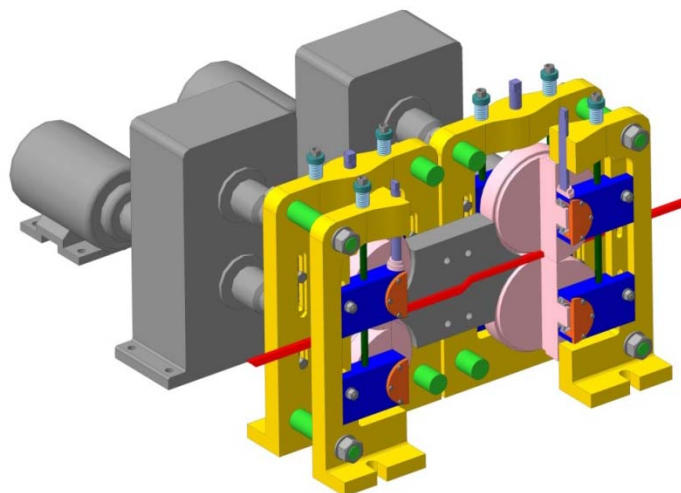


Рис. 7. Сборка установки для реализации совмещенного процесса «прокатка-прессование»

ВЫВОДЫ

На основе выше приведенного теоретического исследования можно прогнозировать, что внедрение в производство совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков позволит получать металл с субультрамелкозернистой структурой и высокими механическими свойствами с решением выше поставленных задач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2181314 РФ, МПК ⁷B21D25/02, B21C25/00. Устройство для обработки металлов давлением. Рааб Г. И., Кулясов Г. В., Полозовский В. А., Валиев Р. З.; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный авиационный технический университет. – № 2000115099/02 ; заявл. 09.06.2000 ; опубл. 20.04.2002.
2. Валиев Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
3. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации / Ф. З. Утяшев. – Уфа : УГАТУ, 2008. – 313 с.
4. Найзабеков А. Б. Сравнительный анализ процесса «прокатка-прессование» в равноканальной ступенчатой матрице при использовании калиброванных валков и валков с гладкой бочкой / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // Технология производства металлов и вторичных материалов. – Темиртау, 2007. – № 1. – С. 116–122.
5. Найзабеков А. Б. Теоретические исследования совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // Изв. вузов. Черная металлургия. – Москва, 2008. – № 6. – С. 22–26.
6. Найзабеков А. Б. Кинематический расчет совмещенного процесса «прокатка-прессование», осуществляемого с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // Технология производства металлов и вторичных материалов. – Темиртау, 2008. – № 1. – С. 66–70.
7. Найзабеков А. Б. Моделирование совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // Технология производства металлов и вторичных материалов. – Темиртау, 2008. – № 1. – С. 145–154.
8. Найзабеков А. Б. Температурные условия протекания совмещенного процесса «прокатка-прессование» / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин // Труды международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» : сб. науч. тр. – Темиртау, 2009. – С. 328–335.

Найзабеков А. Б. – д-р техн. наук, проф., ректор КГИУ;

Лежнев С. Н. – канд. техн. наук, проректор КГИУ.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Республика Казахстан.

E-mail: kgiu@mail.ru; sergey_legnev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.03.2012 г.