

УДК 621.778.1

Стасовский Ю. Н.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, МИРОВОЙ ОПЫТ, СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕССОВ ВОЛОЧЕНИЯ

Волочение является одним из древнейших и наиболее распространенным сегодня видом обработки металлов давлением. Несмотря на появление других способов изготовления труб (горячая прокатка или прессование, холодная прокатка; появление сварных труб в качестве альтернативы бесшовным), волочение остается незаменимым процессом в трубном производстве.

В современных условиях волочением получают трубы из различных сталей, цветных металлов и сплавов на их основе наружным диаметром 0,1–765 мм (по некоторым данным даже до 1000 мм) с различной толщиной стенки (минимальная – 0,015 мм).

Среди крупнейших производителей труб с использованием процессов волочения значатся страны с развитой металлургией, на долю которых приходится более 70 % выпуска таких труб – США, Япония, Германия, Великобритания, Китай, Южная Корея, Франция, Россия, Украина [1, 2].

В Великобритании, США, Японии, Австрии процесс волочения труб более развит в сравнении с холодной прокаткой. В России и Украине трубы волочением изготавливают в основном с применением безоправочного волочения и волочения на короткой неподвижной оправке. В Великобритании основным способом производства холоднодеформированных труб является волочение на длинной подвижной оправке. В США распространен способ волочения на плавающей (самоустанавливающейся) оправке (в отличие от других стран). В тоже время барабанные станы для волочения труб малых диаметров в бухтах широко используются в Германии, США, Великобритании, Японии и других странах [1, 2].

Цель данного исследования – на основе комплексного анализа процессов волочения труб выявить резервы для совершенствования технологии волочения и определить приоритетные направления дальнейшего развития процессов волочения труб с использованием инновационных подходов.

Особенности деформирования волочением [3–9].

Волочение – пластическая деформация металла, заключающаяся в протягивании заготовки через отверстие волоки, размеры которого меньше размеров поперечного сечения заготовки. Кроме того, сам процесс волочения труб сложен по нескольким причинам: очаг деформации сложный – присутствует внутренняя полость, при оправочном волочении возникает ряд дополнительных сил, связанных с трением и т. д. Это вызывает необходимость аналитического расчета точной величины напряжения и силы волочения для определения расчетным путем энергосиловых параметров процесса, режимов волочения, выбора оборудования и др. Применительно к процессу волочения труб основными факторами, определяющими напряженно-деформированное состояние металла, являются распределение геометрических параметров, механических свойств и условий контактного трения по длине очага деформации.

При волочении без оправки силы трения, направленные навстречу перемещения трубы, действуют только на наружной поверхности, контактирующей с волокой, повышая силу волочения.

При использовании короткой оправки силы трения действуют как на наружной, так и на внутренней поверхности трубы, направлены они также в сторону, противоположную направлению ее движения. Факторы, влияющие при этом процессе на качество труб, весьма многочисленны и основные из них определяются параметрами очага деформации, оборудованием,

рабочим инструментом. Процесс волочения на закрепленной оправке состоит из: волочения на участке волоки, когда труба деформируется только по диаметру без изменения толщины стенки, на этом участке оправка не участвует в процессе волочения; волочения на участке волоки, когда сечение трубы деформируется при одновременном уменьшении диаметра и толщины стенки; волочения через калибрующий цилиндрический участок волоки. Кроме того, основной принцип процесса заключается в удержании оправки в очаге деформации в зафиксированном положении. Это осуществляется за счет использования стержня, жестко прикрепленного как к заднему концу самой оправки, так и к узлу крепления (удержания) на станине волочильного стана. Таким образом, сдерживающими факторами процесса волочения труб на короткой закрепленной (удерживаемой) оправке являются: жесткие условия трения в очаге деформации (волоке) системы «оправка – труба» и «труба – волока», что ограничивает степень деформации, требует применения высокоэффективных технологических смазок и надежного крепления оправки; необходимость специальной подготовки исходной трубной заготовки; при волочении труб (в первую очередь толстостенных) с малым внутренним диаметром (менее 4 мм) возникают сложности с надежным креплением оправки на участке «оправка-стержень», что зачастую приводит к обрыву. Естественно, что сила волочения при равных вытяжках потребует в этом случае большая, чем в предыдущем.

При длиннооправочном волочении труба притягивается вместе с оправкой. В связи с тем, что труба во время волочения удлиняется, она скользит относительно движущейся оправки, как бы отставая от нее. В связи с этим силы трения, действующие на трубу со стороны оправки, имеют направление, совпадающее с направлением волочения. Получается, что силы трения «помогают» реализации процесса, что способствует увеличению степени деформации за один проход, что значительно превышает возможности других способов волочения. Обжатие происходит, в основном, за счет уменьшения толщины стенки трубы. После волочения труба плотно охватывает оправку, поэтому извлечение оправки из трубы является дополнительной и трудоемкой технологической операцией. Таким образом, преимущество этого процесса перед другими способами волочения связано с тем, что оправка при волочении перемещается совместно с трубой и, в результате, на трубу действует минимальная осевая растягивающая сила (при прочих равных условиях), так как сила волочения воспринимается частично оправкой, что позволяет разгрузить захватку на трубе. Волочение на подвижной оправке характеризуется тем, что за один переход достигаются максимальные деформации (в основном стенки трубы, которые на 20–40 % и более выше, чем при использовании любого другого известного способа волочения), максимальное использование ресурса пластичности металла труб; обеспечивается хорошее качество и требуемая точность геометрических размеров внутреннего канала труб; прямизна получаемых при этом труб, что позволяет механизировать последующие операции по их обработке. Рациональное использование преимуществ этого процесса перед другими процессами волочения позволяет в значительной мере расширить область его применения за счет интенсификации деформационно-скоростных параметров. Кроме того, достигается минимальная кривизна изготавливаемых при этом труб, что способствует сокращению цикличности и повышению производительности за счет механизации последующих операций по обработке труб. Анализ существующих технологий изготовления прецизионных труб диаметром менее 20 мм со сверхтонкими стенками позволил установить, что наиболее перспективным и благоприятным, а порой единственно возможным способом деформации таких труб является процесс волочения на подвижной оправке. Особенности технологии изготовления, например, особо тонкостенных труб при волочении на подвижной оправке, обусловлены следующими основными факторами: малой поперечной устойчивостью формы трубы в связи с высоким соотношением диаметра и толщины стенки ($D/S > 100$), что определяет малые допустимые осадки (редуцирование) по диаметру; соизмеримостью упругих деформаций технологического инструмента с толщиной стенки; низкой абсолютной прочностью трубы, имеющей малое поперечное сечение и существенной зависимостью прочности от незначительных абсолютных отклонений стенки (даже

в 0,01 мм), что определяет малые абсолютные и относительные обжатия по толщине стенки; необходимостью обеспечения малой скорости в момент захвата и плавным ее нарастанием до достижения установившегося процесса волочения. Кроме того, для волочения таких труб необходимо применять волочильный инструмент (волоки, оправки), изготовленный с чрезвычайно высокой точностью (отклонение геометрических размеров в пределах 1–3 мкм) из материалов, имеющих низкую упругость. В то же время при производстве некоторых видов труб (например, труб с микронными стенками и др.) этот способ волочения является единственным способом. Серьезным фактором, сдерживающим применение процесса волочения на подвижной оправке, является необходимость осуществления после волочения трудоемких операций по снятию трубы с оправки. Важный фактор, определяющий качество труб – применение высокоэффективных технологических смазок, которые должны либо легко удаляться после деформации, либо полностью возгораться при термической обработке. Отжиг труб с особо тонкими стенками и из легкоокисляемых материалов следует производить в защитной атмосфере либо вакууме, так как толщина слоя образующейся окалины соизмерима с допусками на геометрические размеры трубы. Величина допустимой вытяжки за проход ограничивается еще и наличием различного рода дефектов (наружных дефектов, несплошностей, нарушений кристаллической решетки и т. п.).

Различают волочение: черновое (заготовительное) и чистовое (заключительная операция для придания готовому изделию требуемых формы, размеров и качества); одно- и многократное (с несколькими последовательными переходами волочения одной заготовки); одно- и многониточное (с количеством одновременно протягиваемых заготовок 2, 4, 8); через неподвижную и вращающуюся относительно продольной оси волоку; холодное и теплое (с нагревом заготовки до необходимой температуры) и др.

При производстве труб получили самостоятельное применение такие способы волочения как: барабанное или бухтовое волочение труб – волочение труб или профилей из заготовки, смотанной в бухту и (или) со сматыванием протянутой трубы в бухту на волочильном стане барабанного типа. При бухтовом способе применяются как оправочное (плавающая, самоустанавливающаяся оправка), так и безоправочное волочение на трубоволочильных бухтовых или барабанных станах. Данным способом получают трубы диаметром от 1 до 70 мм с толщиной стенки от 0,2 до 3 мм. Скорости волочения до 30 м/с, длина обрабатываемых труб до 6000 м.

На данный момент в трубном производстве наиболее распространены следующие способы волочения [2, 3]:

– безоправочное волочение – волочение труб, при котором внутренняя поверхность заготовки при протягивании не контактирует с технологическим инструментом. Этот способ применяется чаще для промежуточных проходов с целью уменьшения наружного диаметра (далее – D) протягиваемых труб. В ряде случаев (трубки малого диаметра вплоть до капиллярных, достигнутый минимальный $D = 0,1$ мм) его используют и как отделочную операцию;

– длиннооправочное волочение – с протягиванием заготовки через волоку одновременно с длинной (подвижной) недеформируемой оправкой, которую затем после волочения извлекают из трубы. Волочение на длинной (подвижной) оправке используют для уменьшения D и толщины стенки (S), изготовления труб D менее 40 мм с очень тонкими стенками ($S = 0,1$ мм и менее);

– короткооправочное волочение – с обработкой внутренней поверхности заготовки короткой цилиндрической (цилиндроконической) оправкой, удерживаемой в очаге деформации стержнем, закрепленным на станине волочильного стана. Волочение на короткой (неподвижной) оправке применяют для уменьшения D и толщины стенки трубы, а также для улучшения чистоты внутренней поверхности трубы (достигается минимальная шероховатость $Ra = 0,14$ мкм);

– волочение на самоустанавливающейся оправке – с обработкой внутренней поверхности заготовки незакрепленной (плавающей) самоустанавливающейся оправкой, удерживаемой

в очаге деформации за счет уравнивания действующих на нее втягивающих и выталкивающих сил. Волочение на плавающей оправке применяют: для изготовления труб большой длины, а также в случаях, когда необходимо разгрузить стержень для крепления оправки от осевых усилий и устранения его вибрации. При этом способе волочения достигается улучшение качества внутренней поверхности труб и повышение стойкости оправок;

– профилировочное волочение – волочение труб некруглой (фасонной) формы с использованием двух технологических схем. По 1-й схеме трубу получают из заготовки круглого сечения безоправочным волочением в волоке с каналом фасонного сечения. По 2-й схеме фасонную трубу-заготовку волочат на оправке, сечение которой соответствует сечению готовой трубы. Это позволяет снизить трудоемкость процесса, повысить точность размеров и качество внутренней поверхности труб.

Для волочения труб широкое распространение получили цепные волочительные станы. В настоящее время применяются механизированные трубоволочительные станы: одноцепные и двухцепные с волочением одной, двух и трех труб и более одновременно, барабаны для волочения длинных труб малых диаметров. В СНГ распространены станы с усилием до 15 мН, на которых протягивают трубы длиной до 15 м со скоростью 0,75–2 м/с. Бухтовое волочение производят на вертикальных барабанных трубоволочительных станах. Диаметр волочительного барабана – 1000–1500 мм, а для труб малого диаметра 750 мм [2].

Практическое применение волочения при производстве труб

Волочение находит широкое применение при производстве труб по различным технологическим схемам [2–12]:

– традиционные (базовые) при изготовлении труб из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, из цветных металлов и сплавов на их основе с применением комбинированных технологий с использованием волочения;

– короткие при изготовлении труб из тугоплавких металлов с использованием гидропрессованной и кованой заготовки малых размеров, сварной тонкостенной заготовки с использованием волочения;

– сквозные по схеме «выплавка металла – получение заготовки – получение черновой трубы – получение готовой трубы – отделка» с использованием волочения.

Яркими примерами эффективного и единственно возможного (безальтернативного) применения волочения при изготовлении особых видов труб:

– бухтового волочения без оправки толстостенных труб (например, размером 3×1 мм и длиной более 75 м, материал – нержавеющая сталь аустенитного класса);

– безоправочное волочение особотолстостенных труб (например, размером $6 \times 0,6$ мм, материал – сплав 36НХТЮ, расчетное внутреннее давление более 20 тыс. атм.);

– длиннооправочное волочение особотонкостенных труб без обкатки – применение термопластической деформации (например, размерами $2 \times 0,03$; $10 \times 0,03$; $20 \times 0,03$ мм; материал – нержавеющая сталь аустенитного класса и титановые сплавы);

– длиннооправочное волочение труб со значительным коэффициентом вытяжки за проход (материал – медь М1, маршрут: $25 \times 2,5 \rightarrow 20 \times 0,5$ мм; $\mu = 5,77$; $\varepsilon = 82,7$ %); при изготовлении труб размерами $2...9 \times 0,25$ мм с минимальной кривизной для телескопических сборок из латуни Л63 (режимы: $\mu = 3,25$; $\varepsilon = 69,2$ %); для производства труб размером $2,5 \times 0,4$ мм из сплава 29НК (режимы: $\mu = 2,59$; $\varepsilon = 61,4$ %); при производстве труб размерами $6...0,8 \times 0,6...0,15$ мм из сплава 36НХТЮ (режимы: $\mu = 3,2$; $\varepsilon = 68,9$ %);

– волочение на короткой оправке толстостенных труб с высокой чистотой внутренней поверхности (например, размером 10×2 мм, $R_a \leq 0,63$ мкм) и ряд других. Например, волочение труб на короткой конической оправке с алмазной составляющей (рабочие зоны) проводили при изготовлении прецизионных труб из многокомпонентных коррозионно-стойких сплавов по маршруту: $15 \times 0,5 \rightarrow 14 \times 0,4$ мм ($\mu = 1,33$; $\varepsilon = 24,8$ %). Аналогичные опыты были проведены при изготовлении труб в диапазоне размеров $5...7 \times 0,1...0,4$ мм. Показатели шероховатости (R_a) наружной и внутренней поверхностей соответственно равны 0,26 и 0,048 мкм.

В Украине волочение при производстве труб применяется на следующих специализированных предприятиях: ОАО «Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (ТПЦ-3; специализированный участок для производства труб для ПЭДов, ПЭНов и др.), ОАО «Днепропетровский трубопрокатный завод» (два трубоволочильных цеха объединили в единый комплекс; производство труб из углеродистых сварных и бесшовных труб-заготовок); ГП «Днепропетровский завод прецизионных труб» (трубы из различных материалов – коррозионностойкие сплавы); ЗАО «Сентравис Продакшн Юкрейн» (нержавеющие бесшовные трубы); ЗАО «ЮТиСТ» (трубы из углеродистых сталей); ГП «Никопольский трубный завод» (трубы широкого сортамента из широкого спектра материалов); ЗАО «Трубный завод «ВСПО-Ависма» (трубы из титановых сплавов); ЗАО «Днепровский завод «Алюмаш» (трубы из алюминиевых сплавов); ОАО «Артемковский завод по обработке цветных металлов» (медные и латунные трубы) [4].

Современные проблемы [4–11, 16, 17, 19–21].

Несмотря на кажущуюся простоту процесса волочения и то, что он применяется в состоянии, близком к современному, более 100 лет [20], многие его элементы изучены еще недостаточно. На этот процесс влияет большое число самых разнообразных факторов, причем пока для многих из них трудно установить не, только количественные, но иногда даже и качественные зависимости. Это в значительной мере является результатом несовершенства общей теории больших пластических деформаций кристаллических тел, что в свою очередь связано с недостаточной разработкой теории и практики моделирования, особенно высокоскоростных процессов, миниатюрных прецизионных изделий, многочисленных материалов, из-за которого наиболее точные количественные показатели получаются только при натуральных исследованиях. Поэтому теория волочения требует дальнейшего развития и совершенствования [21].

Производство труб волочением является многопроходным процессом, цикличность которого определяется размерами готовой трубы и исходной заготовки. При изготовлении труб волочением имеют место ряд многочисленных вспомогательных операций (термообработка, травление, обезжиривание, промывка, сушка, нанесение подмазочных покрытий и смазки, правки, обрезка головок и порезка на необходимые длины, формовка головок, нанесение консервационных покрытий и др.).

К трубной заготовке для последующего волочения предъявляют повышенные требования, так как большинство дефектов переходит на готовые трубы. Так, заготовку для безристочных труб подвергают расточке и последующему контролю с помощью перископа. Недостатки безправочного волочения – низкое качество внутренней поверхности труб и большая разнотолщинность стенки трубы после волочения.

Применение способа волочения труб на подвижной оправке не получило широкого развития в СНГ, так как не всегда обоснованно и оправдано предпочтение было отдано станам холодной прокатки (валкового и роликового типов).

ВЫВОДЫ

Интенсификация процесса волочения без оправки возможна при условии учета всех факторов процесса: расходуемой мощности, усилия, напряжения волочения, при этом энергетические параметры зависят от степени деформации, физико-механических свойств обрабатываемого металла, геометрических размеров трубы, формы волочильного инструмента. Это обусловлено тем, что полная мощность формоизменения расходуется на: изгиб сечения при входе в очаг деформации и выходе из него, преодоление сил трения на поверхности контакта металла с инструментом и внутреннее сопротивление металла, причем в зависимости от угла наклона образующей волоки соотношение между составляющими полной мощности изменяется [9, 10, 12, 17].

Развитие волочения на короткой оправке проходит параллельно с развитием холодной прокатки на станах ХПТ и ХПТР при производстве холоднодеформированных труб широкого

сортамента из углеродистых и низколегированных марок стали. Это определяется: высокой скоростью процесса (в сравнении со скоростью при холодной прокатке), простотой обслуживания станов при настройке и переходе на другой размер, получение высокой точности размеров труб (D и S) и чистоты внутренней поверхности труб (Ra), возможностью изготовления профильных труб при относительной простоте инструмента. Однако, повышенное число проходов при короткооправочном волочении, что обусловлено ограничением разовых деформаций по сравнению с прокаткой труб широкого сортамента, увеличение расходного коэффициента металла (р.к.м.) – всё это делает его экономически нецелесообразным при производстве труб общего назначения. Перспективным является применение инструмента оптимальной формы из материалов с низким коэффициентом трения, что позволит не только снизить расход энергии, но и даст возможность увеличить разовые деформации трубы за проход, а, следовательно, снизить цикличность, уменьшить расход инструмента и др. Схема напряженного состояния оказывает существенное влияние на степень деформации, поэтому снижение противодействующих сил трения на границе контакта «металл-инструмент» является важным фактором при снижении цикличности [11, 16, 17].

Решению проблемы снижения коэффициента трения в очаге деформации посвящены многочисленные работы, которые можно разделить на два основных направления: совершенствование собственно технологического инструмента (оправки, волоки) и использование эффективных подмазочных покрытий на внутренней поверхности трубы до деформации с последующим нанесением жидких технологических смазок непосредственно перед волочением.

Совершенствование технологического инструмента для реализации процесса волочения на короткой оправке направлено на: усиление звена «оправка – стержень», поиск для изготовления оправок и волок современных материалов, обладающих высокой твердостью, износостойкостью, технологичностью при шлифовке и полировке для обеспечения минимальной шероховатости поверхности, например натуральных или синтетических алмазов; с целью снижения коэффициента трения и износа технологического инструмента (волоки, оправки) целесообразно применять нанопокртия на рабочей (контактирующей) поверхности. В качестве примера, разработка новых технологических приемов, созданных на базе изучения условий трения между трубой и оправкой при волочении с использованием жидкой смазки (патент Украины 21973), применение нового типа оправок: оправки – стержня и сборной оправки с алмазной составляющей (а. с. СССР 1811931), оптимизацию деформационно-скоростных режимов волочения [11, 16, 17].

Перспективным направлением в современных условиях при производстве прецизионных труб является внедрение сквозных технологий. Структурно-сквозные технологии состоят из отдельных самостоятельных (завершенных) в технологической цепочке блоков – модулей (I–V) по схеме: сырье; I блок – выплавка металла; II блок – получение исходных заготовок (слитков); III блок – изготовление передельной заготовки; IV блок – изготовление готовых труб; V блок – обеспечение специальных служебных свойств товарных труб. По мере разработки и внедрения научно-методологических основ этих технологий возникает реальная возможность организации мини-производств или мини-заводов для производства труб широкого сортамента высокого качества (включая прецизионные) [13, 14].

С целью снижения цикличности целесообразно использовать в качестве исходной заготовки тонкостенную сварную заготовку размером, максимально приближающимся к размеру готовой трубы [19].

С целью интенсификации процессов волочения и обеспечения высокого качества продукции в некоторых случаях целесообразно применять приложение внешнего воздействия в очаге деформации или к деформируемой трубе: ультразвуковых колебаний, магнитного поля, кручения и др. [18].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Современные тенденции развития трубного производства* / Гуляев Ю. Г., Шифрин Е. И., Мамузич И. и др // *Теория и практика металлургии*. – Днепропетровск, 2009. – № 4. – С. 14–17.
2. *Стасовский Ю. Н. Мировая трубная промышленность. XXI век* / Ю. Н. Стасовский // *Экономика Украины*. – 2008. – № 5. – С. 51–57; № 6. – С. 58–65.
3. *Стасовский Ю. Н. Проектирование современных производств обработки металлов давлением : Учебник для ВУЗов с грифом МОН* / Ю. Н. Стасовский, Ю. С. Кривченко, Г. С. Бабенко; под ред. д-ра техн. наук Ю. Н. Стасовского. – Днепропетровск : Монолит, 2009. – 746 с.
4. *Стасовский Ю. Н. Прецизионные трубы* / Ю. Н. Стасовский // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 1–2. – С. 24–28; № 3–4. – С. 35–39; № 5. – С. 49–52.
5. *Стасовский Ю. Н. Пути дальнейшего развития процесса волочения прецизионных труб на подвижной оправке* / Ю. Н. Стасовский // *Сталь*. – 2000. – № 7. – С. 53–55.
6. *Стасовский Ю. Н. Термопластическая деформация при волочении прецизионных труб на подвижной оправке* / Ю. Н. Стасовский // *Сталь*. – 1999. – № 7. – С. 53–55.
7. *Стасовский Ю. Н. Повышение точности и качества труб после длиннооправочного волочения путем замены обкатки термораздачей* / Ю. Н. Стасовский, М. Д. Медвинский // *Бюллетень научно-технической информации. Черная металлургия*. – 1989. – № 11. – С. 61–63.
8. *Новая универсальная смазка для холодного волочения изделий высокого качества из меди и латуни* / Ю. Н. Стасовский, В. Д. Носарь, И. Г. Турянчик, Р. Ф. Кочирко // *Цветные металлы*. – 2000. – № 5. – С. 99–101.
9. *Стасовский Ю. Н. К вопросу управления изменением толщины стенки трубы при свободном уменьшении диаметра* / Ю. Н. Стасовский, Ю. М. Беликов, А. Ю. Стасовский // *Металл и литье Украины*. – 1998. – № 1–2. – С. 29–32.
10. *Новая технология производства прецизионных труб повышенной прочности из дисперсионно-твердеющих сплавов* / Ю. Н. Стасовский, Т. Я. Васильева, М. Д. Медвинский, В. А. Омельченко // *Сталь*. – 1991. – № 9. – С. 52–54.
11. *Стасовский Ю. Н. Совершенствование процесса волочения прецизионных труб на закрепленной оправке* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1999. – № 5. – С. 82–86.
12. *Стасовский Ю. Н. Комплексный математический аппарат для управления технологическим процессом изготовления труб из черных и цветных металлов* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 8–9. – С. 328–329.
13. *Стасовский Ю. Н. Основы нового метода построения технологических маршрутов изготовления прецизионных труб по сквозным ресурсосберегающим технологиям* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 4. – С. 50–51.
14. *Стасовский Ю. Н. Новая концепция мини-завода по производству прецизионных труб* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2001 – № 2. – С. 47–52.
15. *Стасовский Ю. Н. Технолого-экономическая модель производства прецизионных труб в условиях мини-производства* / Ю. Н. Стасовский, И. Н. Лукаш // *Сталь*. – 2010. – № 3. – С. 92–94.
16. *Стасовский Ю. Н. К вопросу о повышении качества поверхности прецизионных труб* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 8–9. – С. 349–350.
17. *Стасовский Ю. Н. Механика изменения шероховатости поверхностей труб* / Ю. Н. Стасовский // *Цветные металлы*. – 2002. – № 1. – С. 113–117.
18. *Стасовский Ю. Н. Исследование мирового уровня, анализ традиционных технологий и разработка концептуальных основ перспективного применения нанотехнологий и наноматериалов при изготовлении прецизионной продукции* / Ю. Н. Стасовский, В. В. Страшна // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 3. – С. 8–14.
19. *Стасовский Ю. Н. Научные основы ресурсосберегающих технологий производства прецизионных труб малых размеров применительно к условиям мини-производств с использованием тонкостенной сварной заготовки* // «Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. Теорія і технологія виробництва труб». – Дніпропетровськ : «Системні технології», 2008. – Т. 11. – С. 377–384.
20. *Baron H. G., Tompson F. C. // The wire Industry*. – 1951. – V. 18, № 210. – P. 543.
21. *Перлин И. Л. Теория волочения* / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М. : Металлургия, 1971, 2-е изд. – 448 с.

Стасовский Ю. Н. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: omd2004@i.ua