

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УПРОЧНЕННЫХ ТРУБНЫХ И ПРУТКОВЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF HARDENED PIPE AND BAR STOCK FOR AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

В.Б. ДЕМЕНТЬЕВ, д.т.н.
А.Д. ЗАСЫПКИН, к.т.н.

Удмуртский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения РАН, Ижевск, Россия,
oka592@rambler.ru

V.B. DEMENT'YEV, Dsc in Engineering
A.D. ZASYPKIN, PhD in Engineering

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia,
oka592@rambler.ru

Проблема получения качественной поверхности остро стоит при термической, химико-термической и термомеханической обработке изделий прокатного производства. Но в связи с тем что многие металлургические заводы недостаточно оснащены средствами зачистки при указанных видах обработки, не обеспечивается необходимое качество поверхности металлопродукции. На операциях, связанных с удалением дефектов поверхности проката, занято от 30 до 60 % рабочих прокатных цехов. Необходимость зачистки приводит к разрыву поточности производства, так как металл для контроля и зачистки дефектов должен быть предварительно охлажден. В результате общие затраты по зачистке в 2–3 раза превышают затраты на выполнение основных технологических операций – нагрева и деформации металла. В связи с этим определенный интерес представляют совмещенные и комбинированные методы горячей прокатки с одновременным упрочнением и устранением дефектов поверхности, что дает значительную экономию энергоресурсов и исключает операции травления в растворах серной и соляной кислот.

В рассматриваемой работе предлагаются новые методы зачистки проката перед деформированием в режиме высокотемпературной термомеханической обработки цилиндрических горячекатаных (г/к) сплошных и полых заготовок с деформацией винтовым обжатием, совмещающие, наряду с высокопроизводительным методом формообразования и упрочнения проката, экологически чистые (безкислотные) методы очистки поверхности, а также совмещенные с механической обработкой методы удаления дефектов поверхностного слоя. При этом одновременно с очисткой поверхности и повышением точности проката происходит формирование структуры поверхностного слоя по механизму фазовых превращений при термомеханической обработке. Изменяется вид излома при низкотемпературных разрушениях от хрупкого к вязкому.

Следует отметить также необходимость дальнейшего развития таких хорошо зарекомендовавших себя методов зачистки, как лезвийная и гидроабразивная обработка, которые позволяют при зачистке проката из любых марок стали от окалины реализовать максимально надежную систему очистки, обеспечивают эффективное удаление поверхностных и более глубоких дефектов, повышают выход годного проката, уменьшают расход энергии и хорошо вписываются в линию непрерывного прокатного стана. Наряду с этим, по данным последних исследований, гидроабразивная обработка повышает усталостную долговечность полых цилиндрических деталей до 15 %.

Ключевые слова: лезвийная зачистка, абразивная обработка, высокотемпературная термомеханическая обработка, нагрев, деформация, охлаждение, производительность.

Для цитирования: Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Сравнительный анализ методов повышения качества упрочненных трубных и прутковых заготовок для деталей сельхозтехники // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 2. С. 52–60. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-52-60.

The problem of obtaining a high-quality surface is acute in thermal, chemical-thermal and thermomechanical processing of products of rolling production. But, due to the fact that many metallurgical plants are insufficiently equipped with cleaning tools for these types of processing, the required surface quality of metal products is not ensured. Operations related to the removal of defects in the surface of rolled products employ from 30 to 60 % of the workers in rolling shops. The need for cleaning leads to a rupture of the production flow, since the metal must be pre-cooled for inspection and cleaning of defects. As a result, the total cost of cleaning is 2–3 times higher than the cost of performing the main technological operations – heating and deformation of the metal. In this regard, the combined methods of hot rolling with simultaneous hardening and elimination of surface defects are of particular interest, which gives significant energy savings and excludes etching operations in solutions of sulfuric and hydrochloric acids.

The paper considers new methods for stripping rolled stock before deformation in the high-temperature thermomechanical treatment (HTMT) mode of cylindrical hot-rolled solid and hollow billets with screw compression (SC)

deformation, combining, along with a high-performance method of shaping and strengthening of rolled products, environmentally friendly (acid-free) methods of surface cleaning, as well as methods of removing surface layer defects combined with mechanical processing. At the same time, simultaneously with cleaning the surface and increasing the accuracy of rolled products, the structure of the surface layer is formed by the mechanism of phase transformations during thermomechanical processing.

The type of fracture changes at low-temperature destruction from brittle to ductile.

It should also be noted, that there is the need for further development of such well-proven cleaning methods as blade and waterjet processing, which allow, when cleaning rolled products from any steel grades from scale, to implement the most reliable cleaning system, ensure effective removal of surface and deeper defects, increase yield, reduce energy consumption and fit well into the continuous rolling mill line. According to recent studies, waterjet treatment increases the fatigue life of hollow cylindrical parts by up to 15 %.

Keywords: blade cleaning, abrasion, high temperature thermomechanical processing, heating, deformation, cooling, productivity.

Cite as: Dement'yev V.B., Zasyplin A.D. Comparative analysis of methods for improving the quality of hardened pipe and bar stock for agricultural machinery parts. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 2, pp. 52–60 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-52-60.

Введение

Если упрочнение в режиме высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) прутковой заготовки и ее дальнейшая механическая обработка до готовой детали не имеет принципиальных препятствий (причем определенная номенклатура деталей вообще не требует отделочной обработки после упрочнения), то существующие в настоящее время технологические процессы изготовления полых деталей типа пальцев, валов, осей и пр. из г/к заготовки связаны с определенными трудностями. К ним можно отнести использование трудоемких операций глубокого сверления продольных отверстий в сплошных заготовках либо решение проблемы повышения качества внутренней поверхности полученных в металлургическом цикле полых заготовок [1], от чего в большой степени зависит долговечность деталей, подвергаемых циклическим эксплуатационным нагрузкам. При этом второе направление является наиболее приемлемым с точки зрения экономии материальных ресурсов и повышения производительности труда при изготовлении больших объемов полых заготовок на существующем и специализированном оборудовании [2].

В современных условиях коммерческий успех промышленных предприятий определяется конкурентоспособностью выпускаемых изделий, которая в значительной мере определяется их качеством [3]. Анализ системы обеспечения и повышения качества изделий металлургии и машиностроения показал, что эта проблема в значительной мере решается на стадии проектирования и технологической подготовки производства. Комплексный

подход к вопросам проектирования технологических процессов позволяет решать важную и сложную задачу оптимизации качества поверхности с учетом условий работы детали.

Известно положительное влияние на многие механические характеристики сталей (статическую и циклическую прочность, вязкость и пластичность, износостойкость и т.д.) [4, 5]. Применение индукционного нагрева снижает интенсивность процессов окисления и обезуглероживания поверхностей проката [6, 7]. К сожалению, применение этой высокоэффективной обработки для повышения эксплуатационной надежности деталей машин затруднено из-за некоторых особенностей свойств стали после ВТМО: анизотропии свойств, высокой твердости, затрудняющая обработку деталей резанием [5]. Создание технологии ВТМО (рис. 1) возможно при учете этих особенностей на стадии проектирования деталей и технологии их изготовления.

Для ряда процессов упрочнения с применением ВТМО в результате проведенных исследований установлены зависимости, связывающие условия обработки и качество поверхности детали, что позволяет назначать режимы обработки, обеспечивающие с учетом технологической наследственности заданные параметры качества – высоту и форму неровностей, точность, уровень механических свойств и т.п. Это упрощает контроль отдельных параметров продукции, упрочненной с применением ВТМО, который сводится до минимума и заменяется контролем условий обработки: степени деформации, подачи, жесткости технологической системы, температуры деформации.

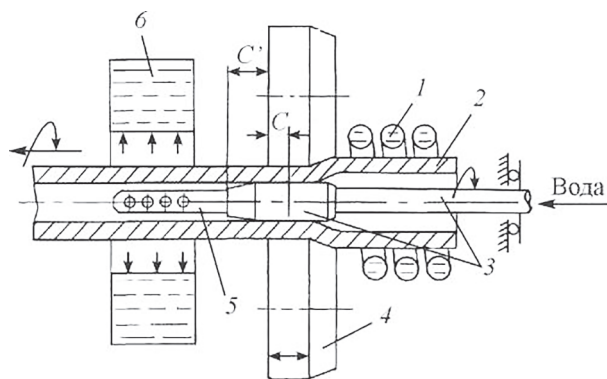


Рис. 1. Калибровка труб на короткой оправке:
1 – индуктор; 2 – заготовка; 3 – короткая оправка;
4 – деформирующие ролики; 5 – внутренний
спрейер; 6 – наружный спрейер; C' – вылет
оправки за плоскость роликов

Fig. 1. Sizing pipes on a short mandrel:
1 – inductor; 2 – billet; 3 – short mandrel;
4 – deforming rollers; 5 – internal sprayer;
6 – external sprayer; C' – extension of the mandrel
beyond the plane of the rollers

Особый интерес к упрочняющим технологиям на основе ВТМО вызван тем, что они позволяют без замены материала повысить качество изделий за счет упрочнения рабочих поверхностей, повышения их точности и снижения шероховатости. Повышение эффективности процессов формообразования, упрочнения и повышения качества изделий при ВТМО с деформацией винтовым обжатием (ВО) обеспечивается разработкой и применением новых схем деформирования для изделий, работающих в различных условиях эксплуатации, а также эволюцией принципов управления режимами обработки.

В настоящее время на практике используется широкий арсенал конструкторско-технологических приемов в области металлургии и машиностроения, которые повышают эффективность управления параметрами технических систем, в том числе технологического класса. Важно, в этой связи, выработать общие, универсальные подходы к интенсификации процесса ВТМО ВО на основе проверенных теорией и практикой решений. Вместе с тем, применение ВТМО в цикле изготовления гаммы высоконагруженных цилиндрических деталей значительно расширяет область применения заготовок из горячекатаного круглого сортового проката – одного из самых распространенных видов металлургической продукции [8].

Цель исследований

Обоснование рекомендаций по использованию ВТМО в цикле изготовления гаммы высоконагруженных цилиндрических деталей.

Материалы и методы

Высокие требования, предъявляемые потребителями к качеству готового проката, ставят операции, направленные на повышение качества поверхности, в число основных технологических операций. Но в связи с тем, что многие металлургические заводы недостаточно оснащены средствами зачистки, необходимое качество металлопродукции обеспечивается в объемах, не удовлетворяющих потребности заказчиков. Проблема зачистки поверхностных дефектов остро стоит при термическом, химико-термическом и термомеханическом видах упрочнения горячекатаных заготовок. На операциях, связанных с удалением дефектов поверхности проката, занято от 30 до 60 % рабочих прокатных цехов. Необходимость зачистки приводит к разрыву поточности производства, так как металл для контроля и зачистки дефектов должен быть предварительно охлажден. В результате общие затраты по организации зачистки в 2–3 раза превышают затраты на выполнение основных технологических операций – нагрева и деформации металла. В связи с этим определенный интерес представляют совмещенные и комбинированные методы горячей прокатки с одновременным удалением дефектов поверхности, что дает значительную экономию энергоресурсов.

В рассматриваемой работе предлагаются новые схемы зачистки под высокотемпературную термомеханическую обработку цилиндрических горячекатаных сплошных и полых заготовок с деформацией винтовым обжатием, совмещающие высокопроизводительный метод формообразования и упрочнения проката с очисткой поверхности от окалины экологически чистыми (безкислотными) методами, а также с удалением дефектов поверхностного слоя механической обработкой.

В прокатном производстве применяют огневые, абразивные, лезвийные и электрофизические способы удаления поверхностных дефектов на металле в горячем и холодном состоянии. При этом экономически целесообразной, технически обоснованной и имеющей максимальную производительность является зачистка металла в горячем состоянии [9].

В последние годы активно совершенствуются имеющиеся способы зачистки и создаются принципиально новые высокопроизводительные способы, направленные на полную автоматизацию процессов удаления поверхностных дефектов проката, совмещение операции нагрева [10], зачистки, деформации и охлаждения проката на одной установке, а также замену операций травления проката экологически чистыми (механическими) методами обработки.

Ввиду того, что расходы на зачистку составляют 40–50 % стоимости прокатного передела [9], весьма актуальным является выбор способа зачистки, конструкции оборудования и инструмента, а также место операции в технологическом цикле.

При выборе способа зачистки (рис. 2) необходимо учитывать следующие факторы: производительность и себестоимость процесса; возможность организации непрерывно-последовательного технологического цикла; совмещенность процесса прокатки с удалением дефектного слоя; возможность обработки широкого сортамента сталей и сплавов; степень утилизации отходов; загрязненность окружающей среды; автоматизацию и механизацию процесса [9].

Огневой способом в горячем состоянии можно зачищать углеродистые и низколегированные, а также сложнолегированные стали. При этом зачистку заготовок из сложнолегированных сталей осуществляют с добавкой в зону огневой зачистки экзотермического

реагента – флюса (кислородно-флюсовая зачистка). Существенным преимуществом этого способа является возможность гранулирования водой высокого давления металлоотходов, образующихся в процессе зачистки, которые содержат до 90 % железа и по химическому составу и по гранулометрическому составу, близки к железным порошкам марок ПЖ-3 – ПЖ-5 по ГОСТ 9849-74 [9].

Результаты и обсуждение

Способ абразивной зачистки используют для сплошного и выборочного удаления поверхностных дефектов заготовок в холодном состоянии. Для этого способа характерна значительная стоимость инструмента, невысокая производительность при большой себестоимости зачистки и занимаемой оборудованием площади, трудность автоматизации процесса. По этим причинам абразивная зачистка нашла достаточно широкое распространение лишь на заводах по производству качественных сталей на агрегатах, установленных вне технологического потока [11].

Лезвийная обработка (токарная, фрезерование, иглофрезерование) особое значение имеет при производстве металлопроката из специальных сталей и сплавов, так как позволяет сохранять полноценные отходы в виде металлической стружки для последующего переплава.

Анализ структуры затрат при абразивном и лезвийном способах зачистки показал, что имеются существенные различия, обуслов-



Рис. 2. Классификация методов зачистки металлических поверхностей

Fig. 2. Classification of methods for cleaning metal surfaces

ленные их технологическими особенностями. Лезвийный способ более выгоден при зачистке полупродукта из легкообрабатываемых резцом сталей. Труднообрабатываемые стали целесообразно зачищать абразивным способом. Абразивной способ зачистки является более производительным, причем правильный выбор параметров инструмента позволяет обрабатывать стали всех марок без снижения производительности по съему металла. Поэтому затраты на заработную плату, электроэнергию и амортизационные отчисления остаются неизменными при зачистке сталей всех групп обрабатываемости и составляют незначительную долю от общего уровня затрат. Основная расходная статья (70–90 %) – это абразивный инструмент.

При лезвийной зачистке основная доля затрат приходится на заработную плату, амортизационные отчисления и электроэнергию, которые резко возрастают по мере перехода к зачистке труднообрабатываемых сталей при одновременном снижении производительности процесса (рис. 3).

Вместе с тем, приведенный анализ дает лишь общее представление о технологических особенностях этих двух способов зачистки и не позволяет оценить экономическую эффективность их применения, так как не учитывает потерь металла в отходы и возможность утилизации последних. Однако это весьма суще-

ственный фактор, поскольку сплошной обточке или шлифованию подвергаются заготовки из стали дорогостоящих марок.

Отходы от лезвийной обработки утилизируются на 98 %. При этом в процессе их переплава из отходов извлекаются практически все легирующие добавки, т.е. величина безвозвратных потерь сводится к минимуму. Отходы же абразивной зачистки реализуются через вторчермет и при дальнейшей переработке извлекаются только никель и кобальт, а остальные дорогостоящие элементы безвозвратно теряются, что значительно снижает экономическую эффективность.

В результате обычно общий уровень затрат на абразивную обработку с учетом безвозвратных потерь металла и реализации отходов во всех случаях выше, чем на лезвийную, особенно при зачистке высоколегированных сталей [11].

Но в ряде случаев, как отмечено в [12, 13], процесс абразивной зачистки может быть осуществлен при затратах, приближающихся к уровню затрат при лезвийной зачистке или даже меньших. Этому способствует созданные в последнее время разновидности высокостойкого абразивного инструмента и разработанные схемы утилизации отходов шлифования.

Сравнение эффективности различных способов зачистки металла, применяемых на от-

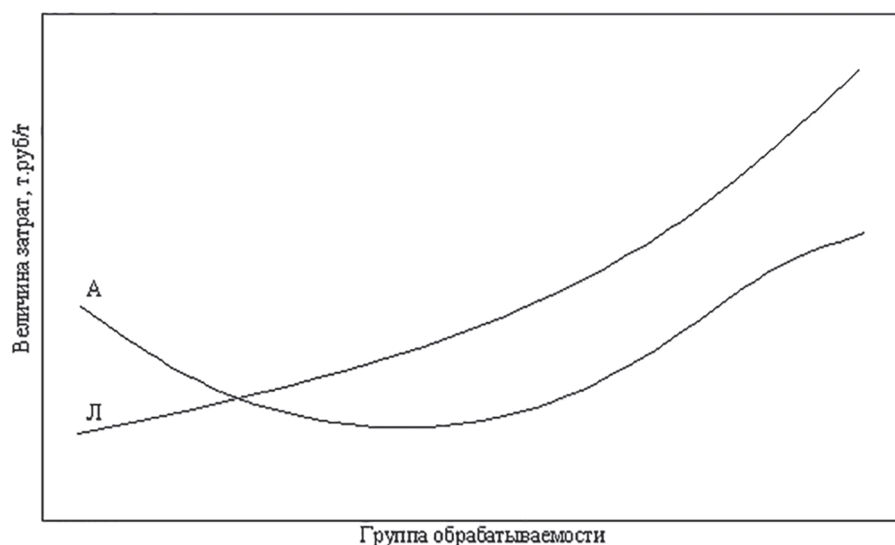


Рис. 3. Величина затрат на удаление 1 т дефектного слоя без учета потерь металла в отходы обработки:
Л – лезвийная обработка; А – абразивная обработка

Fig. 3. The value of the cost of removing 1 ton of a defective layer without taking into account metal losses in processing waste:
L – blade processing; A – abrasive processing

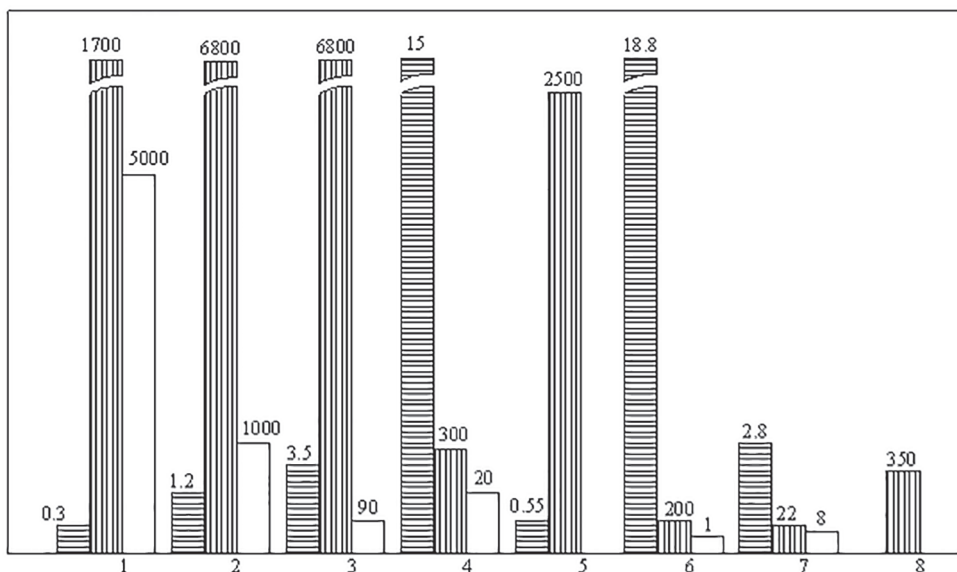


Рис. 4. Сравнительные ТЭП применяемых средств зачистки:

1 – огневая зачистка (ОЗ) в потоке обжимных станков; 2 – ОЗ в потоке сортовых станков; 3 – ОЗ нержавеющей сталей; 4 – абразивные станки; 5 – термофрезерные станки; 6 – фрезерные станки; 7 – воздушно-дуговая зачистка; 8 – электро-контактная зачистка; – себестоимость зачистки, тыс. руб./т; – производительность способа по съему металла, т/год; – годовая производительность, тыс. т/год

Fig. 4. Comparative technical and economic indicators of the used stripping means:

1 – fire stripping (FS) in the stream of blooming mills; 2 – FS in the stream of crimping mills;

3 – FS of stainless steels; 4 – abrasive machines; 5 – thermal milling machines; 6 – milling machines;

7 – air arc stripping; 8 – electro-contact stripping; – cost of stripping, thousand rubles/tonne;

– performance of the method of the metal removal, tonne/year; – annual productivity, tonne/year

есественных металлургических заводах, по-наиболее важным технико-экономическим показателям (ТЭП), приведено на рис. 4. Эти результаты являются усредненными по нескольким заводам и составлены для условий зачистки сопоставимого сортамента металлопроката [9].

Особенности применения лезвийной и абразивной обработки

В технологическом процессе изготовления упрочненных трубных и сплошных заготовок из горячекатаного проката для получения бездефектной поверхности большую роль играет выбор места операции лезвийной зачистки в общем технологическом цикле изготовления упрочненных методом ВТМО заготовок. Использование в качестве упрочняющей обработки калибровку в режиме ВТМО с деформацией ВО несколько усложняет эту проблему, т.к. лезвийная обработка заготовки после упрочнения представляет определенные трудности из-за высокой твердости заготовок (HRC₃ 50...60). Поэтому представляется целесообразным проводить зачистку лезвийным инструментом до упрочнения.

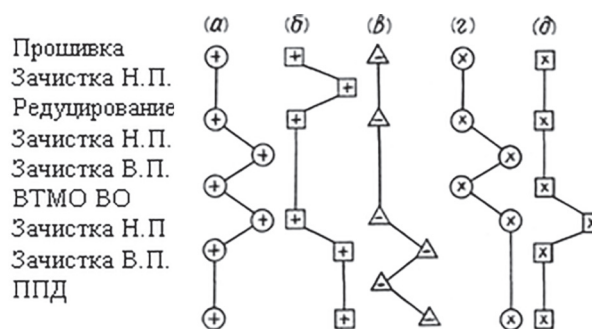


Рис. 5. Возможные технологические варианты применения лезвийной зачистки:

a – хороший вариант; б – возможный вариант; в-д – варианты, оправданные лишь в исключительных случаях; НП – наружная поверхность; ВП – внутренняя поверхность

Fig. 5. Possible technological applications of blade stripping:

a – good option; b – possible option; c-d – options justified only in exceptional cases; OS – outside surface; IS – inner surface

На рис. 5 представлены возможные технологические варианты применения лезвийной зачистки.

Обработка наружной поверхности не представляется сложной, так как имеется достаточная гамма специализированного оборудования и инструмента. Однако удаление дефектного слоя с внутренней поверхности связано с определенными трудностями. Это, чаще всего, значительная протяженность и небольшой диаметр обработки ($L \geq 5d$; $d = 10...30$ мм), неравномерное распределение припуска на обработку диаметра по длине отверстия, различные неметаллические включения, дефекты поверхности и т.д.

Для повышения производительности механической обработки глубоких отверстий горячекатаных заготовок (имеющих кривизну оси, волнистость поверхности, некруглость) разработан инструмент с винтовой режущей частью (ВРЧ), свободно посаженной на гладкую цилиндрическую оправку [7].

На рис. 6 показана схема процесса зачистки внутренней поверхности трубы инструментом с ВРЧ. Устройство и принцип работы инструмента с радиальной подачей режущей кромки подробно описаны в [7]. Геометрические параметры ВРЧ показаны на рис. 7.

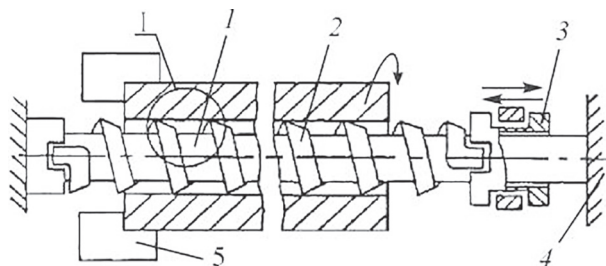


Рис. 6. Инструмент с винтовой режущей частью (ВРЧ):
1 – оправка; 2 – ВРЧ; 3 – втулка; 4 – задняя бабка;
5 – патрон токарного станка

Fig. 6. Screw-cutting tool (SCT):
1 – mandrel; 2 – SCT; 3 – bushing;
4 – tailstock; 5 – lathe chuck

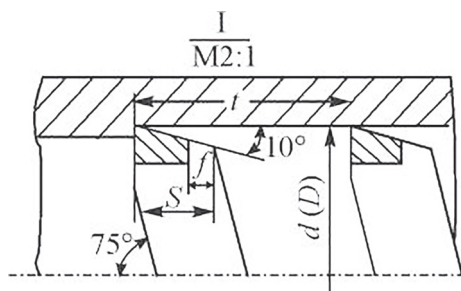


Рис. 7. Геометрические параметры ВРЧ

Fig. 7. Geometric parameters of SCT

Сила резания при обработке ВРЧ (ОВРЧ) будет зависеть от глубины врезания и длины ВРЧ, определяемой из выражения: $L = \pi D n$, где n – число витков ВРЧ.

Успешному решению задачи удаления неравномерного припуска с поверхности отверстия прошитой заготовки может способствовать применение обработки винтовыми развертками (ОВР). Отличительной чертой этого инструмента является выполнение его в виде однозаходной спирали с левым заходом витков под углом $\omega = 50-80^\circ$ (рис. 8). При выборе интервала значений угла подъема витков необходимо учитывать диаметр рабочей части инструмента и осевой шаг спирали зуба. Режимы обработки винтовыми развертками и геометрические параметры инструмента подробно описаны в работе [14]. Сила резания при ОВР определяется также, как и при ОВРЧ.

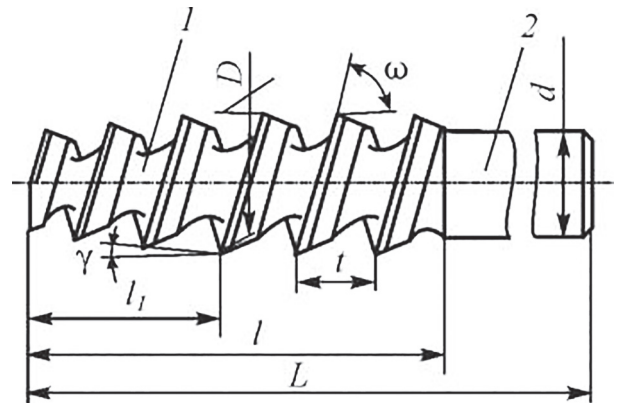


Рис. 8. Винтовая развертка:
1 – хвостовик; 2 – режущая часть

Fig. 8. Helical reamer:
1 – shank; 2 – cutting part

К одному из более эффективных методов обработки внутренней поверхности упрочненных труб можно отнести гидроабразивную обработку (ГО). Эффективность ГО деталей (рис. 9), работающих в условиях усталостного нагружения, показана в работах Нестеренко И.М. В применении к полым деталям целесообразно использовать данный вид обработки при зачистке отверстия после ВТМО ВО (рис. 1), когда твердость поверхности изделий составляет $HRC_3 52...53$ и более. Подвергнутые абразивной обработке детали показали при стендовых испытаниях прирост долговечности до 15%. На рис. 9 представлена схема устройства для высокопроизводительной ГО внутренней поверхности труб [4].

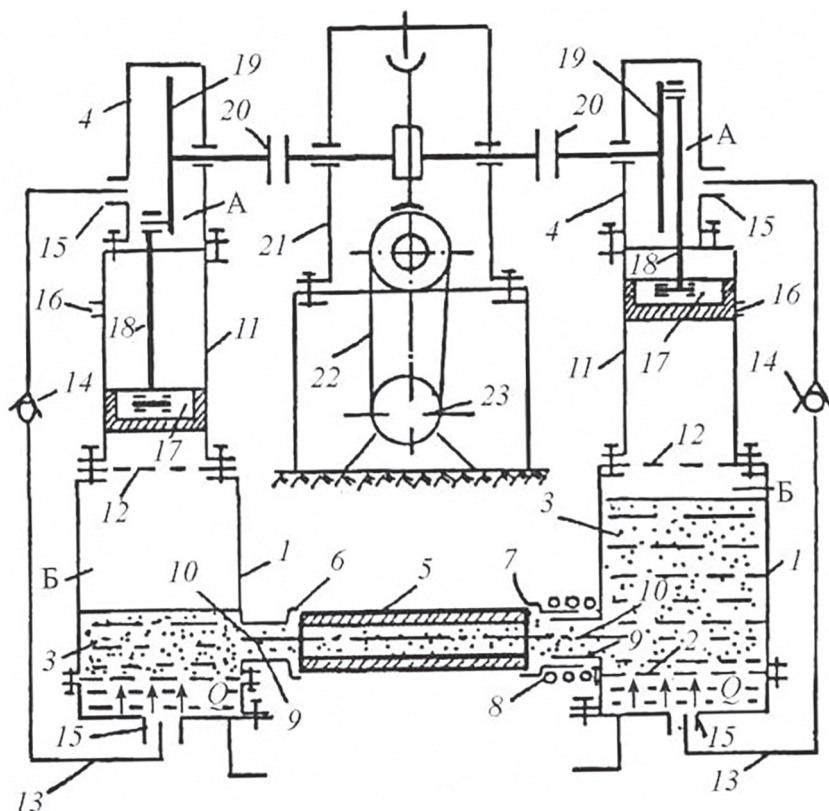


Рис. 9. Схема устройства для гидроабразивной обработки внутренней поверхности труб:

- 1 – рабочая камера; 2 – поддерживающая решетка; 3 – абразивный порошок; 4 – верхняя камера; 5 – деталь;
 6, 7 – гнездо; 8 – пружина; 9 – клапан; 10 – заслонка; 11 – рабочий цилиндр; 12 – решетка защитная;
 13 – трубопровод; 14 – обратный клапан; 15 – отверстие для трубопровода; 16 – отверстие для воздуха;
 17 – поршень; 18 – шатун; 19 – маховик; 20 – муфта; 21 – редуктор; 22 – гибкая передача; 23 – двигатель

Fig. 9. Diagram of a device for waterjet processing of the inner surface of pipes:

- 1 – working chamber; 2 – support grid; 3 – abrasive powder; 4 – upper chamber; 5 – part;
 6, 7 – socket; 8 – spring; 9 – valve; 10 – housing; 11 – working cylinder; 12 – protective grill; 13 – pipeline; 14 – check valve;
 15 – hole for the pipeline; 16 – air hole; 17 – piston; 18 – connecting rod; 19 – flywheel; 20 – clutch;
 21 – reducer; 22 – flexible gear; 23 – engine

Выводы

Таким образом, совмещение перспективных методов удаления дефектов с поверхности проката (механическая обработка) и методов снижения окалинообразования и других дефектов поверхности прокатного передела (применение индукционного нагрева) в совокупности с прогрессивной ВТМО с деформацией винтовым обжатием является одним из направлений создания ресурсосберегающих технологий изготовления деталей с повышенными эксплуатационными характеристиками. Следует отметить также необходимость развития таких перспективных методов зачистки, как гидроабразивная обработка, которая позволяет при зачистке проката из любых марок стали от окалины реализовать полностью безотходную систему очистки, обеспечивает эффективное удаление поверхностных и более глубоких дефектов, повышает

выход годного проката, уменьшает расход энергии и хорошо вписывается в линию непрерывного прокатного стана. Наряду с этим, по данным последних исследований, гидроабразивная обработка повышает усталостную долговечность полых цилиндрических деталей до 15 %.

Литература

1. Шаврин О.И. и др. Качество поверхности цилиндрических изделий с термомеханическим упрочнением. Урал. отд. Рос. акад. наук. Ижевск, 2006. 178 с.
2. Шаврин О.И., Трухачев А.В., Савинов В.А., Кобышев В.Н. Экономия металла и повышение его надежности в машиностроении. Устинов: Удмуртия, 1985. 94 с.
3. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 223 с.

4. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. В 2-х т. М.: Металлургия, 1968. 1171 с.
5. Шаврин О.И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин. М.: Машиностроение, 1983. 176 с.
6. Шаврин О.И. и др. Деформирующий инструмент для винтового протягивания: а.с. 871943 (СССР); опубл. в Б.И., 1981, № 38.
7. Трухачев А.В., Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Инструмент для механической обработки глубоких отверстий: а.с. 16467712 (СССР); опубл. в Б.И., 1991, № 17.
8. Прокатное производство. Справочник в 2-х т. / под ред. Е.С. Рокотьяна, с предисл. А.И. Целикова. М.: Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии, 1962. Т. 1. 743 с.
9. Дайкер А.Л. и др. Современные высокопроизводительные средства зачистки поверхности проката. М.: Металлургия, 1983. 192 с.
10. Телегин А.С., Лебедев Н.С. Конструкция и расчет нагревательных устройств. М.: Машиностроение, 1975. 217 с.
11. Итоги науки и техники ВНИИТИ АН СССР. Прокатное и волочильное производство. Том 14. 1986. 176 с.
12. Владыченский К.В. Повышение эффективности производства и расширение сортамента горячекатаных профилей. Харьков, 1982, 3-12 (РЖ Мет, 1984, 11Д79).
13. Mortita Masahiko. Тэцу то хаганэ, Tetsu to hagane, J. Iron and steel inst. Jap., 1982, 68, № 5, 438 (РЖ Мет, 1982. 12В26).
14. Дементьев В.Б., Трухачев А.В., Засыпкин А.Д. Устройство для гидроабразивной обработки внутренней поверхности труб: а.с. № 1569208 (СССР); опубл. в Б.И., 1990.
- nological support for the reliability of high-precision machine parts]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1975. 223 p.
4. Bernshteyn M.L. Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i splavov [Thermomechanical treatment of metals and alloys]. V 2-kh t. Moscow: Metallurgiya Publ., 1968. 1171 p.
5. Shavrin O.I. Tekhnologiya i oborudovaniye termomekhanicheskoy obrabotki detaley mashin [Technology and equipment for thermomechanical processing of machine parts]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1983. 176 p.
6. A.s. 871943 (SSSR) Deformiruyushchiy instrument dlya vintovogo protyagivaniya [Deforming tool for screw broaching]. (Shavrin O.I. i dr.). Opubl. V B.I., 1981, No 38.
7. A.s. 16467712 (SSSR). Instrument dlya mekhanicheskoy obrabotki glubokikh otverstiy [Deep hole machining tool] (Trukhachev A.V., De-ment'yev V.B., Zasyupkin A.D) Opubl. V B.I., 1991, No 17.
8. Prokatnoye proizvodstvo. Spravochnik [Rolling production. Directory] v 2-kh t. Pod red. YE.S. Rokotyana, s predisl. A.I. Tselikova. Moscow: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo po chernoy i tsvetnoy metallurgii Publ., 1962. Vol. 1. 743 p.
9. Dayker A.L. i dr. Sovremenn-yye vysokoproizvoditel'n-yye sredstva zachistki poverkhnosti prokata [Modern high-performance cleaning products for rolled surfaces]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1983. 192 p.
10. Telegin A.S., Lebedev N.S. Konstruktsiya i raschet nagrevatel'nykh ustroystv [Design and calculation of heating devices]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1975. 217 p.
11. Itogi nauki i tekhniki VNNITI AN SSSR. Prokatnoye i volochil'noye proizvodstvo [Results of science and technology VNNITI of the USSR Academy of Sciences. Rolling and drawing production]. Vol. 14. 1986. 176 p.
12. Vladychenskiy K.V. Povysheniye effektivnosti proizvodstva i rasshireniye sortamenta goryachek-atanykh profiley [Increasing production efficiency and expanding the range of hot-rolled profiles]. Khar'kov, 1982, 3-12 (RZH Met, 1984, 11D79).
13. Mortita Masahiko. T-etsu to khagan-e, Tetsu to hagane, J. Iron and steel inst. Jap., 1982, 68, № 5, 438 (RZH Met, 1982, 12V26).
14. A.s. 1569208 (SSSR) Ustroystvo dlya gidro-abrazivnoy obrabotki vnutrenney poverkhnosti trub [Device for waterjet treatment of the inner surface of pipes] (Demen-t'yev V.B., Trukhachev A.V., Zasyupkin A.D.). Opubl. V B.I., 1990.

References

1. Shavrin O.I. [i dr.] Kachestvo poverkhnosti tsilindricheskikh izdeliy s termomekhanicheskim uprochneniyem [Surface quality of cylindrical products with thermomechanical hardening]. Ural.otd. Ros. akad. Nauk Publ. Izhevsk, 2006. 178 p.
2. Shavrin O.I., Trukhachev A.V., Savinov V.A., Konyshov V.N. Ekonomiya metalla i povysheniye yego nadezhnosti v mashinostroyenii [Saving metal and increasing its reliability in mechanical engineering]. Ustinov, Udmurtiya, 1985. 94 p.
3. Dal'skiy A.M. Tekhnologicheskoye obespecheniye nadezhnosti vysokotochnykh detaley mashin [Tech-