

М.В. Темлянецв, А.А. Уманский, В.Я. Целлермаер

Сибирский государственный индустриальный университет

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО
ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ НА
СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНАХ**

В настоящее время наибольшее распространение на сортовых прокатных станах получили методы высокотемпературной термической обработки путем закалки металла непосредственно после горячей деформации без дополнительного нагрева [1 – 8]. Закалка проводится за счет ускоренного охлаждения раската при интенсивной подаче охлаждающего реагента на поверхность проката [9]. Отсутствие дополнительной операции по нагреву металла перед проведением термоупрочнения позволяет достичь экономии топлива, обеспечить высокую производительность прокатного стана [3].

В последнее время технологии принудительного охлаждения с температуры конца прокатки начинают применяться при производстве фасонных профилей, что обеспечивает повышение прочностных свойств при использовании экономнолегированных марок сталей. Существующие в настоящее время способы ускоренного охлаждения проката различаются по виду охлаждающей среды, методам организации ее подачи на охлаждаемую поверхность проката и отвода отработанного охладителя. Известны такие способы, как спрейерное (струйное) охлаждение, охлаждение водовоздушной смесью, охлаждение в сплошном потоке воды в устройствах камерного типа (камерное охлаждение) [2].

Сущность спрейерного, или струйного охлаждения, заключается в подаче струй охлаждающей воды на поверхность профиля. Удаление отработанной воды с охлаждаемой поверхности осуществляется, как правило, самотеком. Устройства, реализующие этот способ охлаждения, представляют собой проходные спрейеры или струйные камеры, оборудованные механизмами для транспортирования металла. При спрейерном охлаждении сравнительно легко осуществить дифференцированное охлаждение проката по элементам профиля. Спрейерный, или струйный способ охлаждения позволяет создать компактные уста-

новки, в которых обеспечивается интенсивное регулируемое охлаждение проката. Интенсивность спрейерного охлаждения определяется плотностью орошения, скоростью выхода воды из сопла, расстоянием между соплом и охлаждаемой поверхностью, углом наклона струй относительно поверхности проката. Скорость спрейерного охлаждения может достигать 100 °С/с, а коэффициент теплоотдачи имеет порядок от 1,3 до 100 кВт/(м²·К). Пример струевого охлаждающего устройства для неравнополочного уголка конструкции УкрНИИМет (Украина) представлен на рис. 1.

Наряду с достоинствами способ спрейерного охлаждения и реализующие его устройства обладают рядом недостатков, снижающих эффективность их применения. К ним относятся: необходимость строгой фиксации охлаждаемого профиля относительно струй воды; невозможность обеспечения сплошного охлаждения всей поверхности, поскольку интенсивному охлаждению подвергаются только участки поверхности в местах попадания

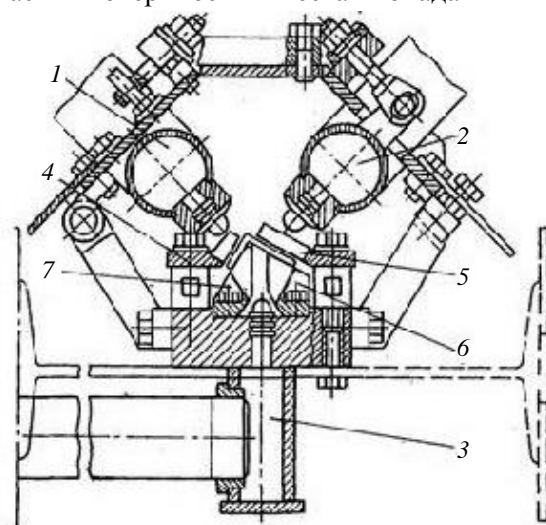


Рис. 1. Схема струевого устройства для охлаждения неравнополочного уголка конструкции УкрНИИМет (Украина):

1 – 3 – коллекторы; 4 – 7 – направляющие

струй воды; низкий коэффициент использования воды, обусловленный кратковременностью ее контакта с поверхностью охлаждаемого профиля; необходимость очистки воды для избежания засорения отверстий спрейеров; необходимость применения транспортирующих механизмов [5].

Метод ускоренного охлаждения проката за счет подачи водовоздушной смеси является достаточно эффективным. Введение жидкости в поток воздуха позволяет получать мелкодисперсную струю водяного тумана. При соприкосновении с нагретой поверхностью мелкие капли воды интенсивно испаряются и эффективно отбирают тепло. Поток воздуха удаляет образовавшийся пар, что препятствует образованию паровой пленки. Подача водовоздушной смеси на поверхность охлаждаемого проката может осуществляться перпендикулярно, под углом или параллельно к ней в открытом пространстве или в закрытых камерах. Отличительной чертой водовоздушного охлаждения является возможность регулирования в широких пределах интенсивности охлаждения изменением соотношения расходов воды и воздуха в смеси. Водовоздушные смеси характеризуются значительно более равномерным охлаждением металла по сечению струи в сравнении с водяными струями [5].

При охлаждении фасонных профилей коллекторы охлаждающих устройств выполняются в форме, соответствующей конфигурации охлаждаемого проката. В качестве примера на рис. 2 представлено устройство для ускоренного охлаждения водовоздушной смесью полосообразного профиля.

Камерный способ охлаждения в сплошном потоке воды наиболее часто используется для термического упрочнения крупных сортовых

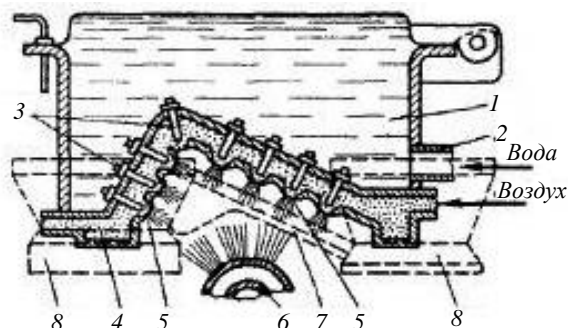


Рис. 2. Схема устройства для охлаждения полосообразного профиля водовоздушной смесью:

- 1 – накопительный бак; 2 – труба подвода воды;
3 – патрубки; 4 – верхний коллектор; 5 – сопла;
6 – нижний коллектор; 7 – прокат; 8 – ролики

профилей и длинномерных изделий на высокоскоростных непрерывных станах.

При использовании камерного способа охлаждения участок ускоренного охлаждения, как правило, состоит из отделения водоподготовки, устройств пред- и последеформационного охлаждения проката в линии прокатного стана. К камерам охлаждения вода подается по отдельному трубопроводу. Давление воды в охлаждающих устройствах регулируется задвижками и, как правило, в среднем достигает 10 – 20 атмосфер в зависимости от конструкции охлаждающих устройств [9].

Важным фактором, определяющим интенсивность охлаждения, является выбор направления движения потока относительно раската (прямоток или противоток). Наибольшее распространение на практике получили прямоточные устройства проходного типа для охлаждения проката водой в процессе его движения [2]. Преимуществом прямоточных камер, особенно при охлаждении длинномерного проката перед холодильником, является наличие гидротранспортирования проката, что создает благоприятные условия для беспрепятственного прохождения раскатом зоны охлаждения и стабильной его транспортировки по технологической линии.

Анализируя опыт внедрения технологий термического упрочнения проката на сортовых станах в отечественной металлургии, можно констатировать, что указанные технологии применяются, в основном, для арматурных профилей. В частности, производство термоупрочненной арматуры успешно освоено на Западно-Сибирском металлургическом комбинате (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») [10 – 13], Магнитогорском металлургическом комбинате [14], Череповецком металлургическом комбинате (ОАО «Северсталь») [15].

Опыт массового производства фасонного термоупрочненного проката имеется только на непрерывном среднесортном стане 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК». На этом прокатном стане освоено производство термически упрочненных фасонных профилей из низколегированных сталей, в частности уголковых профилей, двутавровых балок, швеллеров, специального взаимозаменяемого профиля.

Особенностью используемой на стане 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» технологии упрочнения является наличие первоначального ускоренного охлаждения наиболее массивных элементов фасонных профилей (рис. 3, а), после проведения которого принудительному охлаждению подвергаются профили целиком (рис. 3, б). Имеющиеся данные [16, 17] свидетельствуют,

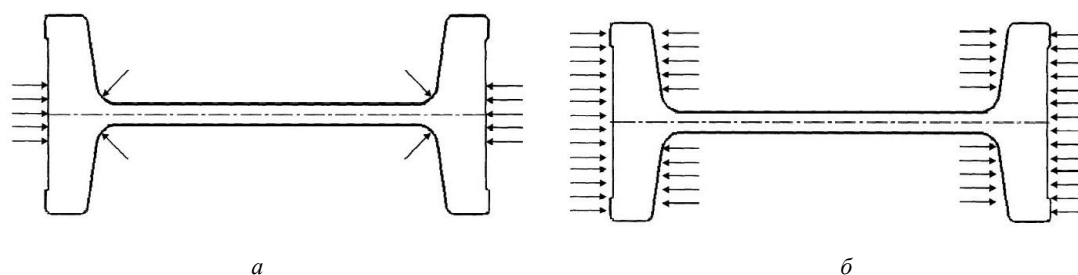


Рис. 3. Схема ускоренного охлаждения двутавра ДП155:
 а – предварительное охлаждение; б – охлаждение всего профиля

что механические свойства фасонных профилей из стали 09Г2С соответствуют требованиям ГОСТ 19281 – 2014 по всем показателям для классов прочности 295 и 325.

В странах СНГ технологии термического упрочнения проката на сортовых станах также применяются, в основном, для арматурных профилей. В частности, производство термоупрочненной арматуры осуществляется на комбинате «Криворожсталь» (Украина) [18], Белорусском металлургическом заводе [19].

Касательно фасонного проката имеется опыт использования технологий термоправки, основной целью которой является предупреждение искривления профиля, а не повышение механических свойств металла [20]. В частности, имеется опыт внедрения установок термоупрочнения-термоправки производства Энергосталь-УкрНИИМет (Украина, г. Харьков) на Макеевском металлургическом комбинате, Енакиевском металлургическом заводе [20].

Анализ конструктивных решений по устройству и размещению установок термического упрочнения фасонного проката на сортовых станах показал, что наиболее эффективным вариантом является построение схемы таких установок по блочному принципу. В этом случае на подвижной раме каждого блока в защитный кожух с крышками последовательно устанавливаются несколько секций охлаждения. На этих же рамах параллельно секциям охлаждения монтируется рольганг с межроликовыми проводками. Подвижные рамы имеют возможность перемещения перпендикулярно оси прокатки по неподвижным основаниям. Таким образом, возможно перемещение в линию прокатки рольганга взамен секций установки термоупрочнения и обратное перемещение.

Такой принцип компоновки позволяет обеспечить универсальность установки – обеспечение возможности проведения закалки для широкого сортамента профилируемых проката (уголки равнополочные и неравнополочные, швеллеры, двутавровые балки) и возможности варьирования режимов термоупрочнения.

Кроме этого, возможность ввода в линию прокатки необходимого по технологии количества секций охлаждения обеспечивает предотвращение износа центрирующих элементов незадействованных секций охлаждения. Также обеспечивается возможность проведения подготовительных работ по настройке установки термоупрочнения параллельно с прокаткой по обычной технологии, то есть без остановки прокатного стана.

В качестве примера подобного решения можно привести спроектированную ОАО «ВНИИМТ» для условий среднесортного стана 350 АО «Северсталь» установку термоупрочнения фасонного проката [21].

Согласно проекту, вышеупомянутое устройство термоупрочнения фасонного проката стана 350 АО «Северсталь» устанавливается на месте кожухов отводящего рольганга уже имеющегося устройства термоупрочнения арматуры, существующие защитные кожуха демонтируются. Секции охлаждения установки выполняются в двух вариантах – для углового проката и швеллера.

Выводы. Наиболее эффективной технологией термического упрочнения фасонных профилей на сортовых станах является метод ускоренного охлаждения в закрытых камерах с использованием прямоточных устройств проходного типа. С точки зрения обеспечения компактности расположения установок для термоупрочнения на сортовых станах, а также достижения их универсальности наиболее целесообразным вариантом является построение схемы таких установок по блочному принципу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов М.А., Частильцев В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали.– М.: Наука и технологии, 2002. – 519 с.
2. Бровкин В.Л., Анурова Т.В., Радченко Ю.Н., Коваленко В.В. Анализ существующих технологий ускоренного охлаждения сортового проката и его

- влияние на структуру и механические свойства металла // *Металлургическая теплотехника*. 2010. Вып. № 2 (17). С. 14 – 22.
3. Б а б и ч В.К. Термическое и термомеханическое упрочнение сортового проката // *Черная металлургия*. Бюл. НТИ. 1987. № 15. С. 34 – 43.
 4. К о в а л е н к о В.В., Б р о в к и н В.Л., Р а д ч е н к о Ю.Н. Исследование структуры и свойств горячекатаного металла после термомеханической обработки // *Теория и практика металлургии*. 2007. № 1. С. 39 – 42.
 5. М и н а е в А.А. Совмещенные металлургические процессы: Монография. – Донецк: Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
 6. П о л е в о й Е.В., Т е м л я н ц е в М.В., Ю н у с о в А.М., А т к о н о в а О.П. Опыт воздушоструйной термической обработки головки железнодорожных рельсов стали марки Э76Ф с использованием тепла прокатного нагрева // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2015. № 1 (11). С. 5 – 10.
 7. В о л к о в К.В., П о л е в о й Е.В., Т е м л я н ц е в М.В., А т к о н о в а О.П., Ю н у с о в А.М., С ю с ю к и н А.Ю. Моделирование воздушоструйной закалки с печного нагрева железнодорожных рельсов // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2014. № 3 (9). С. 17 – 23.
 8. К а д ы к о в В.Н., У м а н с к и й А.А., М а р т ь я н о в Ю.А. Исследование формоизменения поверхностных дефектов при прокатке в сортовых калибрах // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2013. № 6. С. 8 – 12.
 9. Е в с е е в С.Л., Г у л о в П.В., П о п о в А.С., П а р ш и н А.А. Совершенствование технологии ускоренного охлаждения проката // *Сталь*. 2009. № 12. С. 39 – 41.
 10. А й з а т у л о в Р.С., Ч е р н е н к о В.Т., М а д а т ь я н С.А., П и р о г о в В.А., Ф р и д м е н о в Б.Н., Д е м ч е н к о Е.М. Освоение массового производства экономичной арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона // *Сталь*. 1998. № 6. С. 53 – 58.
 11. Ч и н о к а л о в В.Я., Ю р ь е в А.Б., Е ф и м о в О.Ю. Оптимальные режимы упрочнения арматуры класса А500С после прокатки с повышенной скоростью // *Сталь*. 2003. № 1. С. 94 – 96.
 12. Ю р ь е в А.Б., Ч и н о к а л о в В.Я., Г р о м о в В.Е., П о л т о р а ц к и й Л.М., С а р ы ч е в В.Д. Прерывистое охлаждение в потоке стана 450 стальной арматуры большого диаметра – В кн.: Тр. 4-го конгресса прокатчиков. Т. 1. – М.: изд. МИСиС, 2002. С. 301 – 304.
 13. Ю р ь е в А.Б., Н е д о р е з о в В.А., Ч и н о к а л о в В.Я., К л е п и к о в А.Г., М ы с к о в а Н.В. Оптимизация технологии упрочнения стержневой арматуры диаметром 32-40 мм класса А500С // *Сталь*. 2002. № 2. С. 68, 69.
 14. Т а х а у т д и н о в Р.С. Производство термомеханически упрочненной арматуры на мелкосортном стане 250-1 Магнитогорского металлургического комбината // *Черная металлургия*. Бюл. НТИ. 2003. № 12. С. 47, 48.
 15. К и р к и н Д.С. Исследование и совершенствование процесса ускоренного охлаждения проката в линии сортовых станов: дис. канд. техн. наук. – Череповец, 2007. – 184 с.
 16. Пат. 2457257 РФ, МПК С 21 D 1/02 В 21 В 45/02. Способ изготовления прокатных изделий углового профиля / Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я., Зезиков М.В. и др. заявл. 17.06.2011; опубл. 27.02.2012. Бюл. № 21. С. 6.
 17. Пат. 2495826 РФ, МПК С 21 D 8/00 С 21 D 1/02. Способ изготовления двутавра для монорельсовых шахтных дорог / Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. и др. заявл. 08.04.2010; опубл. 10.08.2011. Бюл. № 22. С. 6.
 18. Г у б и н с к и й В. И. Теплотехническое совершенствование процесса термоупрочнения арматурного проката на ОАО «КГМК «Криворожсталь» // *Теория и практика металлургии*. 2004. № 3-4. С. 139 – 141.
 19. Щ е р б а к о в В.И., К у р б а т о в Г.А., Т и щ е н к о В.А. Разработка режимов термоупрочнения арматурной стали № 25-36 в условиях стана 320 БМЗ // *Литье и металлургия*. 2002. № 2. С. 27 – 29.
 20. С ы ч к о в А.Б., М а л а ш к и н С.О. Оборудование и технология для термоправки – термомеханического упрочнения фасонного профиля // *Теория и технология металлургического производства*. 2014. № 2 (15). С. 96 – 100.
 21. Референция центра новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов. – Екатеринбург: изд. ВНИИМТ, 2010. – 2 с.

© 2016 г. М.В. Темлянецв, А.А. Уманский
В.Я. Целлермаер

Поступила 21 сентября 2016 г.