

Хохлов С.А., Лиманкин В.В., Марьин Б.Н., Ким В.А., Марьин С.Б.
ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ

Хохлов С.А., Лиманкин В.В., Марьин Б.Н., Ким В.А., Марьин С.Б.
Khokhlov S.A., Limankin V.V., Maryin B.N., Kim V.A., Maryin S.B.

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОРУЧЬЕВОЙ ПРОКАТКИ **MULTISTRAND ROLLING TECHNOLOGY**

Хохлов Сергей Алексеевич – председатель законодательной думы Хабаровского края.
Mr.Sergey A. Khokhlov – Head of the Legislative Assembly of the Khabarovsk Region, Russian Federation

Лиманкин Владимир Васильевич – управляющий директор ОАО «Амурметалл».
Mr.Vladimir V. Limankin – CEO of JSC “AmurMetal”

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtlp@knastu.ru
Mr.Boris N. Maryin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: kmtlp@knastu.ru

Ким Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmtnm@knastu.ru
Vladimir A. Kim – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Materials Technology and New Materials Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: kmtnm@knastu.ru

Марьин Сергей Борисович – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: MaryinSB@mail.ru.
Mr.Sergey B. Maryin – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: MaryinSB@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние интенсификации многоручьевой прокатки на структуру и свойства металла.

Summary: The paper is concerned with the impact of multistrand rolling intensification upon metal structure and properties.

Ключевые слова: многоручьевая прокатка; скорость и температура прокатки; механические свойства и микроструктура изделия.

Keywords: multistrand rolling, rolling speed and temperature, mechanical properties and microstructure of product.

УДК621.77

Под интенсификацией процессов обработки металлов давлением обычно понимают совокупность некоторых дополнительных по сравнению с традиционными способами мер или действий, позволяющих улучшить качество металлопродукции, снизить трудоемкость изготовления и сократить количество или усовершенствовать используемое оборудование и технологическую оснастку.

Технологические возможности одноручьевой прокатки весьма ограничены, поэтому для повышения производительности процесса при обеспечении высокого качества продукции применяют различные способы интенсификации.

Силовая интенсификация

Сущность способа силовой интенсификации заключается в обеспечении увеличения степени деформации за одну операцию посредством изменения напряженного состояния за-

готовки в благоприятную сторону для формоизменения. Напряженное состояние при этом достигается путем дополнительного силового воздействия, прикладываемого к заготовке рабочими органами оборудования, специальными конструктивными элементами оснастки или благодаря применению некоторых технологических средств.

Как показала практика, наиболее эффективно использование силовой интенсификации в сочетании с термической. Конкретное конструктивно-технологическое решение, основанное на принципе силовой интенсификации, будет рассмотрено ниже.

Термическая интенсификация

Способ термической интенсификации основан на совместном использовании нагрева и охлаждения, обеспечивающих наиболее благоприятный для получения детали заданной формы и размеров перепад температур в заготовке, а следовательно, и оптимальный перепад сопротивления деформирования σ_T и пластических свойств по очагу деформации. Для металлов с низкой теплопроводностью производится нагрев зоны деформации без охлаждения зоны передачи усилия, что объясняется тем, что в процессе формоизменения зона передачи усилия не успевает прогреться и не снижает своих прочностных свойств.

Нагрев заготовки может осуществляться двумя методами: прямым, когда тепло образуется непосредственно в нагреваемой зоне заготовки, и косвенным, при котором тепло, создаваемое внешним источником, тем или иным способом передается в заготовку.

Прямой метод нагрева предусматривает два самостоятельных способа создания тепла в заготовке: индукционный нагрев токами высокой частоты и нагрев электросопротивлением путем пропускания через заготовку больших токов.

При косвенном нагреве тепло передается в зону контактным, конвективным или радиационным путями. В случае контактного нагрева заготовка разогревается в результате прямой теплопередачи от горячей оснастки.

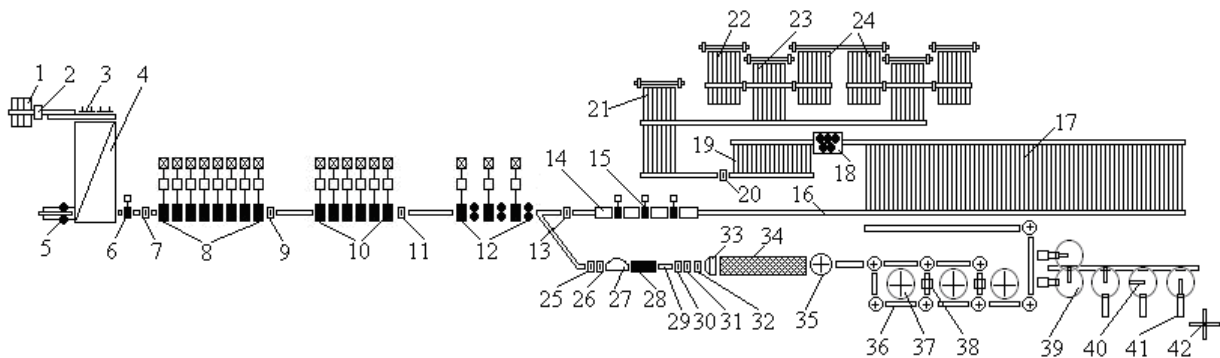


Рис. 1. Схема расположения технологического оборудования мелкосортно-проволочного стана 320/150:

- 1 - загрузочная решетка; 2 - кантователь; 3 - вталкиватель; 4 - нагревательная печь; 5 - отводящий рольганг; 6, 15-трайб-аппараты; 7 - разрывные ножницы; 8 - черновая группа клетей 500/400;
- 9 - кривошипные ножницы № 51; 10 - промежуточная группа клетей 360; 11- эксцентриковые ножницы № 52; 12 - чистовая группа клетей 320; 13 - кривошипно-эксцентриковые ножницы № 53; 14 - участок ускоренного охлаждения; 16 - рольганг; 17 - холодильник; 18 - роликотправильная машина; 19 - транспортер; 20 - ножницы холодной резки; 21 - пакетирующее устройство; 25, 26 - кривошипно-эксцентриковые ножницы; 27 - петлерегулятор; 28 - десятиклетевой проволочный блок 215/170; 29 - установка водяного охлаждения; 32 - трайб-аппарат; 33 - виткоукладчик; 34-участок воздушного охлаждения; 35-виткосборник; 36-конвейер; 37-опрокидыватели; 38-уплотнение и увязка бунтов; 39-устройство для передачи бунтов; 40 - съемник бунтов; 41 - транспортер; 42 - бунтопакетировочная машина

Охлаждение заготовок, являющееся составной частью теоретической интенсификации, осуществляется только контактным и конвективным путями. При контактном способе тепло отводится от заготовки вследствие прямой теплопередачи в металлический охладитель в зоне их контакта. В случае конвективного охлаждения тепло отнимается от заготовки путем непосредственного омывания различными хладагентами (сжатым воздухом, водой, охлажденными или сжиженными газами).

Влияние скорости деформации

При проектировании технологических процессов ОМД необходимо также учитывать влияние скорости деформации на пластические свойства материала. В первом приближении

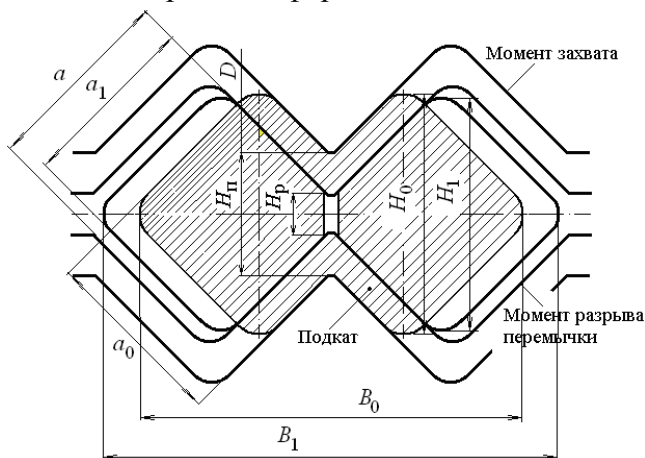


Рис. 2. Схема разделения двухниточного раската

можно сказать, что при увеличении скорости деформации напряжение текучести возрастает, а пластичность падает. Особенно ярко это выражается для магниевых и медных сплавов, высоколегированных сталей, значительно менее чувствительны к скорости деформации алюминиевые сплавы и низколегированные стали.

Рассмотрим влияние скорости деформации, силовой и термической интенсификации на примере двухручьевого прокатки арматуры № 12-16 на мелкосортном стане 320/150, который изображен на рис. 1.

Схема силовой интенсификации двухручьевого прокатки показана на рис. 2.

Химический состав плавов № 24276, № 24196, № 24198 (слиттинг-процесс) приведен в табл. 1.

Таблица 1

Номер плавки	Массовая доля, %														
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V	Nb	Ca	Sn
24276	0,29	1,20	0,66	0,015	0,016	0,05	0,17	0,34	0,007	0,004	0,014	0,001	0,008	0,0008	0,017
24196	0,28	1,20	0,63	0,023	0,014	0,04	0,15	0,25	0,006	0,004	0,012	0,001	0,008	0,0006	0,009
24198	0,29	1,20	0,66	0,018	0,014	0,05	0,14	0,25	0,006	0,004	0,012	0,001	0,008	0,0007	0,009

Режимы прокатки (слиттинг-процесс) и результаты механических испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер плавки, номер партии, профиль	Режимы прокатки	Механические свойства		
		σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %
24276, 2203, № 12	V – 14 м/с	450	710	23,5
	T ₂ – 1170 °С	450	690	24,5
	T ₂₀ – 1100 °С			
24196, 2193, № 14	V – 13,5 м/с	435	670	21,5
	T ₂ – 1160 °С	440	680	22,5
	T ₂₀ – 1150 °С	445	670	25,0
24198, 2184, № 16	V – 12 м/с	435	650	22,0
	T ₂ – 1160 °С	430	660	20,5
	T ₂₀ – 1150 °С	435	660	22,5

Результаты микроструктурного анализа арматурной стали, полученной слиттинг-процессом, представлены в табл. 3.



Таблица 3

Номер партии / номер пробы	Режим прокатки	Твердость HV	Показатели структуры, балл			Структурные составляющие, (соотношение), %	Наименование дефектов и их глубина залегания
			Зерно	Видманштетт	Дисперсность перлита		
2203/1	V – 14 м/с	253 240 228	10-6	1,5	1,5	Феррит(35 %) +перлит(60 %) +бейнит(5 %)	Пузырь – 0,08 мм. По месту разделения трещина глубиной залегания- 0,15 мм. Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2203/2		248 243 212	10-7	1,5	1,5	Феррит(40 %) +перлит(55 %) +бейнит(5 %)	Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2193/1	V – 13,5 м/с	212 214 240	9-5	2	2	Феррит(35 %) +перлит(60 %) +бейнит(5 %)	Пузыри – 0,12; 0,04 мм. Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2193/2		218 202 225	9-5	2	1,5	Феррит(35 %) +перлит(60 %) +бейнит(5 %)	Пузырь – 0,08 мм. Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2193/3		243 238 230	10-7	1,5	1,5	Феррит(45 %) +перлит(50 %) +бейнит(5 %)	Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2184/1	V – 12 м/с	204 215 219	9-6	1,5	1,5	Феррит(40 %) +перлит(55 %) +бейнит(5 %)	Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2184/2		209 207 205	9-7	1,5	1,5	Феррит(40 %) +перлит(55 %) +бейнит(5 %)	Пузыри – 0,06; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12 мм. Химическая неоднородность в виде прямой ликвации
2184/3		214 215 228	10-6	1,5	2	Феррит(40 %) +перлит(55 %) +бейнит(5 %)	Пузыри – 0,04; 0,05; 0,08; 0,10; 0,12; 0,18 мм. Химическая неоднородность в виде прямой ликвации

При анализе микроструктуры различных проб, прокатанных слиттинг-процессом в объеме одной партии, наблюдается изменение размера зерна и соотношения структурных составляющих. Данные различия являются свидетельством изменения температуры металла между второй и двадцатой клетями и соответственно различной скоростью охлаждения.

Прокатка арматуры в одну нитку для сравнительной оценки со структурой, полученной слиттинг-процессом.

Проведено исследование арматуры класса А 400 из стали марки 25Г2С на соответствие требованиям ГОСТ 5781 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций».

Химический состав (прокатка в одну нитку) приведен в табл. 4.

Таблица 4

Но- мер- плав- ки	Массовая доля, %														
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V	Nb	Ca	Sn
21542	0,26	1,28	0,68	0,008	0,015	0,03	0,14	0,29	0,009	0,006	0,013	0,001	0,009	0,0009	0,013
23694	0,20	1,07	0,44	0,013	0,019	0,05	0,16	0,32	0,008	0,005	0,014	0,001	0,007	0,0012	0,013
23697	0,20	1,02	0,38	0,009	0,029	0,05	0,14	0,29	0,006	0,004	0,015	0,001	0,008	0,0006	0,011
23699	0,21	1,06	0,42	0,005	0,032	0,14	0,10	0,30	0,007	0,005	0,015	0,001	0,007	0,0008	0,012

В табл. 5 представлены результаты механических и технологических испытаний (прокатка в одну нитку).

Таблица 5

Номер плавки/ номер партии/ профиль	Режим прокатки	Механические свойства		
		σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %
21542 п. 319 № 16	V – 17,5 м/с T ₂ – 1180 °С T ₂₀ – 1120 °С	395	660	16
		400	650	17
21542 п. 320 № 16	V – 15,5 м/с T ₂ – 1170 °С T ₂₀ – 1130 °С	400	650	18,5
		400	650	18,5
21542 п. 321 № 16	V – 14,5 м/с T ₂ – 1160 °С T ₂₀ – 1140 °С	410	660	17
		410	660	18,5
21542 п. 328 № 14	V – 16 м/с T ₂ – 1180 °С T ₂₀ – 1130 °С	390	650	17
		405	650	17
21542 п. 329 № 14	V – 15 м/с T ₂ – 1180 °С T ₂₀ – 1130 °С	395	650	20
		400	650	19
21542 п. 330 № 14	V – 14 м/с T ₂ – 1180 °С T ₂₀ – 1130 °С	400	650	21,5
		400	650	18,5
23694 п. 54 № 12	V – 16 м/с T ₂ – 1160 °С T ₂₀ – 1130 °С	455	610	26,0
		460	610	27,0
		455	610	26,0
23697 п. 55 № 12	V – 16 м/с T ₂ – 1140 °С T ₂₀ – 1130 °С	450	600	27,0
		440	610	30,0
		445	600	28,0
23699 п. 56 № 12	V – 16 м/с T ₂ – 1140 °С T ₂₀ – 1130 °С	450	620	26,0
		445	620	25,0
		445	620	26,0

В табл. 6 представлены результаты микроструктуры (прокатка в одну нитку).



Таблица 6

Номер партии	Режим прокатки	Твердость HV	Микроструктура				
			Размер зерна	Видманштетт	Структурные составляющие	Соотношение структурных составляющих	Неметаллические включения / дефекты поверхности
Арматура № 16							
319	V – 17,5 м/с	211,6 208,4 225,0	5-9	2,5	феррит+ перлит+ бейнит	40-50-10 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды / пузырь – 0,09; 0,08; 0,05 мм
320	V – 15,5 м/с	265,5 287,4 289,4	5-9	2	феррит+ перлит+ бейнит	45-50-5 %	хрупкие силикаты + оксисульфиды / грубая осевая рыхлость
321	V – 14,5 м/с	282,4 280,4 270,0	5-9	2	феррит+ перлит+ бейнит	45-50-5 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды / осевая рыхлость
Арматура № 14							
328	V – 16 м/с	209,0 209,0 212,9	6-9	2	феррит+ перлит+ бейнит	40-50-10 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды / пузырь – 0,1 мм
329	V – 15 м/с	268,2 284,4 258,4	6-9	1,5	феррит+ перлит+ бейнит	50-40-10 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды / осевая рыхлость, пузырь – 0,08; 0,05 мм
330	V – 14 м/с	293,6 287,4 290,4	6-9	1,5	феррит+ перлит	50-50 %	Грубые хрупкие силикаты + оксисульфиды / грубая осевая рыхлость, пузырь – 0,06 мм
Арматура № 12							
54	V – 17,5 м/с	182,4 178,4 180,9	9-8	1,5	феррит+ перлит+ бейнит	50-45-5 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды
55	V – 16,5 м/с	178,9 178,9 178,9	10-8	1	феррит+ перлит+ бейнит	50-45-5 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды
56	V – 15 м/с	192,5 212,2 174,0	10-8	1	феррит+ перлит+ бейнит	60-35-5 %	Хрупкие силикаты + оксисульфиды

Примечание: арматура № 12 партий 54-56 каталась с секцией термоупрочнения на соответствие требованиям NS 3576-3: 2009, поэтому имеет мелкое зерно. Размер действительного зерна при прокатке арматуры в одну нитку на арматуре № 12 обычно составляет 7-9 баллов.

Выводы.

Из анализа механических свойств и микроструктуры следует:

1. При прокатке слиттинг-процессом уменьшается температурный перепад между 2-й и 20-й клетью (что позволяет обеспечить более стабильную прокатку).
2. Существует возможность снижения температуры во второй и третьей зонах нагревательной печи и температуры заготовки перед прокаткой (возможно имеется экономический эффект, связанный с расходом газа и количеством образующейся окалины).
3. При сопоставимых скоростях прокатки на пробах, прокатанных слиттинг-процессом, наблюдается увеличение пределов текучести и прочности и увеличение относительного удлинения.
4. При прокатке слиттинг-процессом значение предела текучести значительно превышает нижний допустимый уровень, установленный для арматуры класса А400 ГОСТ 5781 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций».
5. При прокатке слиттинг-процессом повышается устойчивость аустенита в области перлитного превращения.
6. При прокатке слиттинг-процессом область разделения находится по месту расположения осевой зоны непрерывнолитой заготовки, которая испытывает более значительные обжатия, увеличивается плотность этой зоны в сравнении с прокаткой в одну нитку.
7. Ухудшения показателей микроструктуры при прокатке слиттинг-процессом, таких как увеличение размеров зерна, видманштетта и дисперсности перлита, не установлено. Исключение составляет арматура № 14 пробы № 1 и 2, где средний размер действительного зерна составляет 6 баллов, а ферритная фаза расположена в виде сетки, что возможно объясняется более высокой температурой металла в области деформации.
8. Показано, что реализация этого способа прокатки позволяет увеличить производительность стана при производстве профилей № 10 и № 12 соответственно на 18,0 и 25,9 т/ч (55,4 %) по сравнению с производительностью стана при традиционной прокатке этих профилей; снизить затраты энергии на деформацию по сравнению с одноручьевогой прокаткой: для профиля № 10 на 27,1 %, для профиля № 12 на 30,4 %.
9. Установлено, что оптимальные по расходу топливно-энергетических ресурсов температурно-скоростные режимы прокатки реализуются при конечной скорости прокатки 15 м/с и снижении температуры нагрева исходной заготовки до 1120 °С, что позволяет получить экономию удельных затрат на топливо и электроэнергию не менее, чем 0,6 – 1,5 %.