

Секция: Технические науки

ТКАЧ ТАТЬЯНА ВАДИМОВНА

*младший научный сотрудник лаборатории
экспериментальных научных исследований
Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры
г. Днепр, Украина*

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРОКАТА ПОСЛЕ НАГРЕВА И ДЕФОРМАЦИИ В МЕЖКРИТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

Введение. Толстые листы из строительных низкоуглеродистых сталей являются массовым видом металлопродукции и широко применяются в промышленном и гражданском строительстве, сооружении мостов и небоскрёбов, магистральных нефте- и газопроводов. Различные сферы применения металла требуют повышения уровня механических свойств [1, 2].

С развитием крупногабаритного и высотного строительства, нефте- и газодобывающей промышленности возрастает потребление более толстых, до 40...60 мм листов, при этом их ударная вязкость снижается. В связи с этим толстолистовой прокат, изготавливаемый по технологии горячей прокатки, не в полной мере соответствует предъявляемым к нему требованиям по механическим свойствам. Наиболее приемлемой, к настоящему времени, является технология контролируемой прокатки, которая повышает качество толстолиствого проката [3-5].

Ранее одним из возможных путей снижения температуры вязко-хрупкого перехода применялась термическая обработка с отдельного нагрева, заключающаяся в закалке от температур межкритического интервала с высоким отпуском [6-9].

Вследствие вышеописанного возникает острая необходимость более подробного изучения механизмов структурообразования при нагреве, выдержки и охлаждении от температур межкритического интервала (МКИ), а также разработки по полученным результатам новых и корректирования действующих температурно-деформационных параметров технологии для повышения ударной вязкости и прочности толстолиствого проката.

Цель исследования – определение влияния формирования структуры при нагреве и деформации от различных температур МКИ с последующим ускоренным охлаждением на механические свойства толстолиствого проката из низкоуглеродистых сталей 10Г2ФБ и 09Г2С.

Материалы и методики. Исследовали низкоуглеродистые стали 10Г2ФБ и 09Г2С, применяемые для изготовления толстолиствого проката. Использовали световую качественную и количественную микроскопию, испытания механических свойств.

Температурную зону МКИ (727...910°C) поделили на 8 участков через каждые 25°C. Деформацию в лабораторных условиях осуществляли по следующему режиму: нагрев до 1000°C в течение 90 минут, перенос в печь, нагретую до выбранной температуры в МКИ, выдержка 10 минут, деформация на 45%, ускоренное охлаждение в масле.

Результаты исследования и их обсуждение.

В лабораторных экспериментах установлено, что структурные превращения в стали развиваются следующим образом. При нагреве до 1000°C формируется равновесная структура аустенита, который при снижении температуры до МКИ частично распадается с образованием зёрен избыточного феррита (до 10 мкм), количество которого зависит от выбранной температуры выдержки и деформации, при этом концентрация углерода в аустените повышается.

По мере накопления деформации обе фазы приобретают всё более высокую плотность дислокаций, которые формируются в разветвленную

сеть малоугловых полигональных границ. Таким образом, чем ниже температура конца деформации в двухфазной области, тем большее количество зерен α -фазы выделится и подвергнется деформации. После окончания деформации, с началом охлаждения и понижением температуры, начинается распад нового, не свойственного исходному составу стали аустенита, в котором концентрация углерода составляет $C_{\gamma_{\text{МКИ}}}$ (табл. 1.), происходит вторичное образование зерен феррита на большеугловых и полигональных малоугловых границах деформированного аустенита. Размер новообразовавшихся зерен феррита не достигает более 3 мкм. Значительная часть углерода при этом вытесняется в аустенит, где его концентрация повышается, но не достигает 0,8% С. При ускоренном охлаждении и снижении температуры ниже A_{r3} стартует бейнитная реакция в аустените.

Таблица 1

Теоретические расчетные количества фаз и концентрация углерода в них при различных температурах МКИ

<i>Сталь 10Г2ФБ</i>					<i>Сталь 09Г2С</i>				
$t_{\text{МКИ}}, ^\circ\text{C}$	$\gamma, \%$	$C_{\gamma}, \%$	$\alpha, \%$	$C_{\alpha}, \%$	$t_{\text{МКИ}}, ^\circ\text{C}$	$\gamma, \%$	$C_{\gamma}, \%$	$\alpha, \%$	$C_{\alpha}, \%$
885	70	0,14	30	0,005	885	63	0,14	37	0,005
860	41	0,23	59	0,007	860	37	0,23	63	0,007
835	27	0,34	73	0,01	835	25	0,34	76	0,01
810	20,5	0,44	79,5	0,013	810	18	0,44	82	0,013
785	16	0,53	84	0,015	785	15	0,53	85	0,015
760	13,5	0,63	86,5	0,017	760	12	0,63	88	0,017
735	11	0,75	89	0,019	735	10	0,75	90	0,019

Межкритический интервал разбили на три части, в зависимости от структурного соотношения и их влияния на механические свойства: верхнюю, среднюю и нижнюю. **В верхней части МКИ (885...860 $^\circ\text{C}$)** из аустенита выделяется некоторое количество избыточного феррита ($\approx 30\%$), зёрна которого по размерам не превышают 10 мкм. В конечной структуре преобладает игольчатый феррит, т.е. бескарбидный верхний бейнит.

Бейнитные пакеты более тёмного оттенка располагаются в ликвационных участках, обогащённых марганцем и микролегирующими добавками (рис. 1. а).

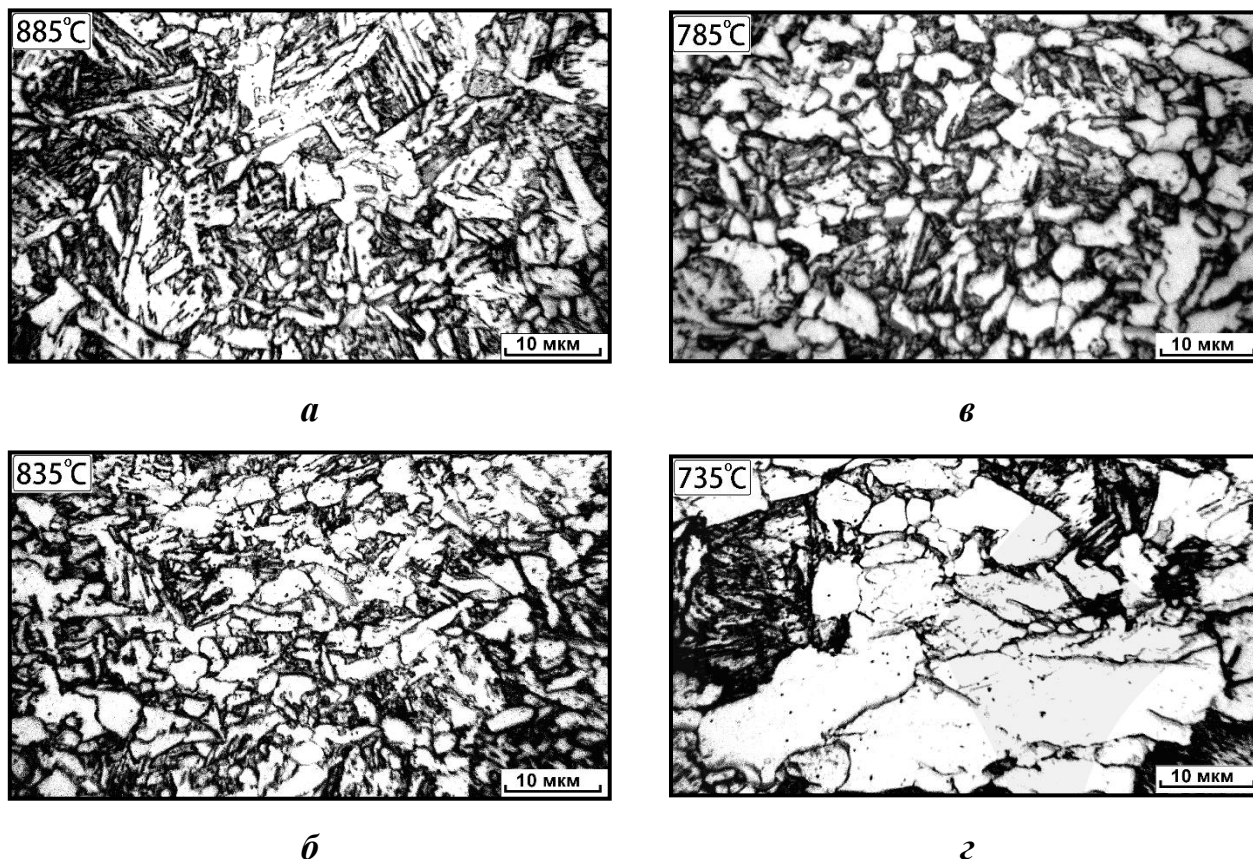


Рис. 2. Микроструктуры после деформации и ускоренного охлаждения от различных температур в МКИ на примере стали 10Г2ФБ.

В средней части МКИ (835...785°C) понижение температуры конца деформации приводит к увеличению количества феррита с одной стороны, и к снижению количества бейнита с другой (рис. 1. б и в). Концентрация углерода в аустените повышается до $\approx 0,4\% \text{ C}$, в следствии этого бескарбидный феррит уже не может образоваться, поэтому образуются кристаллы верхнего бейнита, с карбидными частицами по границам между рейками. **В нижней части МКИ** (760...735°C) в структуре увеличивается количество полигонизованного феррита до $\approx 70\%$, с развитой сетью субзеренных границ (рис 1. г). Остальной аустенит (0,7%С) распадается на нижний бейнит с многочисленными карбидами внутри него. Бейнитная

составляющая при охлаждении заполняет оставшиеся объёмы аустенита, которые становятся более мелкими и разрозненными, так как выделяющиеся кристаллы избыточного феррита многочисленны и расчленяют их на более мелкие фрагменты. Из части γ -фазы образуется $\approx 10\%$ мелких зерен вторичного феррита (до 3 мкм).

На механические свойства толстолистного проката влияет формирование разнообразных по морфологии и химическому составу структурных составляющих после деформации и ускоренного охлаждения при различных температурах МКИ. Предел прочности (σ_B) после такой обработки не проявляет заметных колебаний и находится в диапазоне 770-790 Н/мм² (табл. 2.), поскольку не является структурно чувствительным показателем.

Таблица 2

**Результаты механических испытаний, средние значения
(сталь 10Г2ФБ).**

№	t, °С	L ₀ , мм	δ_5 , %	ψ , %	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	KCV ⁺²⁰ , Дж/см ²	KCV ⁻⁴⁰ , Дж/см ²
1	885	25,0	16,0	65,5	591	783	109	54
2	860	25,0	15,7	64,0	640	777	100	56
3	810	25,0	16,7	61,5	543	772	92	78
4	760	25,0	16,5	61,5	539	772	104	79
5	735	25,0	14,25	47,5	631	790	59	53

Предел текучести ($\sigma_{0,2}$) существенно зависит от структурных изменений. После деформации и охлаждения от температур верхней части МКИ показатели предела текучести повышаются, так как в структуре преобладает игольчатый феррит. После обработки в средней части МКИ выделяется все большее количество избыточного феррита, поэтому $\sigma_{0,2}$ несколько снижается. При температурах нижней части МКИ $\sigma_{0,2}$ начинает возрастать, так как в образовавшемся ($\approx 80\%$) феррите после деформации

образуется сеть полигональных границ, то есть действует субзеренный механизм упрочнения.

Изменение ударной вязкости (KCV) стали противоположно изменению предела текучести (табл. 2.). При отрицательных температурах зависимость KCV⁴⁰ явно выражена. При верхних температурах МКИ значения ударной вязкости низкие из-за наличия в структуре большого количества игольчатого феррита или верхнего бейнита. С понижением температуры и увеличением доли мелких зерен феррита вязкость начинает возрастать. В нижнем интервале МКИ ударная вязкость снижается из-за наличия нижнего бейнита, который наследовал повышенную концентрацию углерода из аустенита (до 0,75%).

Таким образом, полученная информация позволяет судить о формировании структуры и свойств толстолистого проката из низкоуглеродистых сталей в зависимости от температуры конца деформации в МКИ с последующим ускоренным охлаждением. А также вносить изменения в температурные, деформационные и временные параметры производства листов по технологии контролируемая прокатка с ускоренным регламентированным охлаждением.

Выводы:

1. Описаны процессы формирования структуры толстолистого проката из низкоуглеродистых сталей после нагрева и деформации от различных температур МКИ с последующим ускоренным охлаждением.

2. Установлена зависимость структуры и свойств от температуры деформации в МКИ, на основании которой для получения требуемых свойств проката можно варьировать температуру конца деформации.

3. Установлено, что для низкоуглеродистых сталей наиболее перспективное сочетание прочности и вязкости достигается при деформации в средней части МКИ.

Литература:

1. Погоржельский В. И. Контролируемая прокатка непрерывнолитого металла / Погоржельский В. И.– Москва: Металлургия, 1986. – 151 с.
2. Лахтин Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева.– 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1980. – 494 с.
3. Контролируемая прокатка / В. И. Погоржельский, Д. А. Литвиненко, Ю. И. Матросов, А. В. Иваницкий. – Москва: Металлургия, 1979. – 183 с. 10.
4. Матросов Ю. И. Сталь для магистральных газопроводов / Ю. И. Матросов, Д. А. Литвиненко, С. А. Голованенко. – Москва: Металлургия, 1989. – 288 с.
5. Разработка и технологический процесс производства трубных сталей в 21 веке / Ю. Д. Морозов, Ю. И. Матросов, А. С. Болотов [и др.] // Сталь. – 2001. – № 4. – С. 58–62.
6. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке: монография / Большаков В. И., Лаухин Д. В. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – 268 с.
7. Марченко Б. А. Закалка сталей от межкритических температур / Б. А. Марченко // МИТОМ. – 1985. – № 3. – С. 57.
8. Гладштейн Л. И. Кинетика полиморфного превращения в феррито-перлитных сталях при нагреве в межкритическом интервале температур / Л. И. Гладштейн, Т. Н. Риваненок // Сталь. – 2008. – № 4. – С. 64–68.
9. Межкритическая закалка / Г. А. Околович, А. Е. Сизова, Т. В. Мустафина // Ползунковский вестник. – 2012. – № 1/1 – С. 228–231.