

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И ЕГО РОЛИ
В РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В НАПЛАВЛЕННЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЯХ
ПРИ МАРТЕНСИТНОМ ПРЕВРАЩЕНИИ**

Н.Н. Малущин, к.т.н., доц., В.Л. Осетковский, инж., Д.В. Валуев**, к.т.н., доц.
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк ул. Кирова, 42 т.46-32-91, факс: (8-3843) 46-57-92
E-mail : n malushin@mail.ru*

**ОАОЕвразЗСМК, г. Новокузнецк, E-mail : Vasiliy .osetkovskiy@evraz.com*

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-22-48.

E-mail: valuevden@rambler.ru

Одним из технологических приемов регулирования величины и характера распределения напряжений, а, следовательно, величины и направления деформации, возникающей при закалке инструментальных сталей, является использование эффекта кинетической пластичности при $\gamma \rightarrow \alpha$ мартенситном превращении. В процессе такого превращения сталь приобретает повышенную пластичность, в результате чего появляется возможность предупреждать деформацию не в зоне высоких температуры когда сталь находится еще в аустенитном состоянии, а в мартенситном интервале. На использовании такой сверхпластичности основана правка изделий в процессе закалки («закалка в штампе») [1]. Эффект увеличения пластичности в быстрорежущих сталях при температурах на $50-80^\circ\text{C}$ ниже A_1 впервые обнаружен и исследован Гуляевым А.П. [2]. Однако практические пути использования этого явления не разработаны, возможность горячей деформации в области резко повышенной пластичности затруднена из-за узкого температурного интервала. Данные об эффекте сверхпластичности при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении в хромовольфрамовом наплавленном металле отсутствуют.

Нами было проведено исследование эффекта кинетической пластичности (сверхпластичности) быстрорежущих сталей с целью доказательства возможности использования данного явления для уменьшения уровня остаточных напряжений в наплавленном металле и уменьшения вероятности образования холодных трещин.

Исследование влияния эффекта кинетической пластичности на характер формирования временных и остаточных напряжений при охлаждении образцов из наплавленного металла типа стали Р18 и стали 12Х17 в кованом состоянии производили на установке тепловой микроскопии ИМАШ-5С-69. Образцы, имеющие форму двусторонней «лопаточки» с рабочим сечением 9 мм^2 и длиной рабочей части 46 мм , изготавливали из указанных сталей в отожженном состоянии. Общий вид и схема вырезки образца из наплавленного металла представлены на рисунке 1.

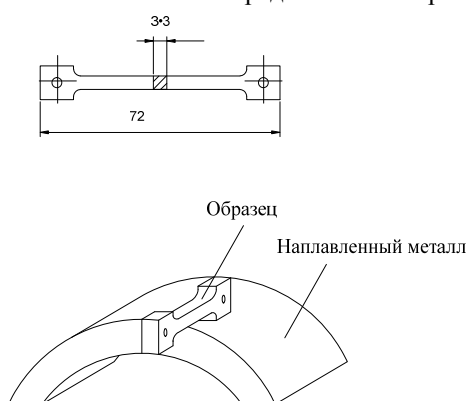


Рис. 1. Общий вид образца для высокотемпературных исследований и схема его вырезки из наплавленного металла

Проявление эффекта кинетической пластичности оценивали по снижению временных напряжений в процессе охлаждения жестко закрепленных образцов в интервале мартенситного превращения. Закрепление осуществляли с помощью электромеханического привода системы нагружения установочной. Образцы нагревали в вакууме $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. за счет тепла, выделенного при протекании

электрического тока. Нагрев производили до температура 800 °С, что ниже точки A_{c1} и до температуры 1200 °С, обеспечивающей высокую степень растворения карбидной фазы в аустените. После нагрева и выдержки образцы жестко закрепляли для сохранения постоянства его длины при последующем охлаждении. Условия нагрева и охлаждения имитировали сварочный термический цикл. Неизменность длины обуславливала соответствующий рост упругопластической деформации образца при охлаждении. Напряжения в образцах в процессе охлаждения непрерывно измеряли с помощью тензометрических датчиков с точностью $\pm 1,5\%$. Температуру определяли платина – платинородиевой термопарой, приваренной к средней части образца. Кинетика формирования временных напряжений в жестко закрепленных образцах в зависимости от температуры непосредственно фиксировалась на двухкоординатном потенциометре типа ПДП-4.

В качестве материала для исследования выбрана быстрорежущая сталь P18, закаливающаяся на мартенсит, и хромистая коррозионно-стойкая сталь 12X17, относящаяся к ферритному классу. Химический состав исследуемых сталей приведен в таблице 1.

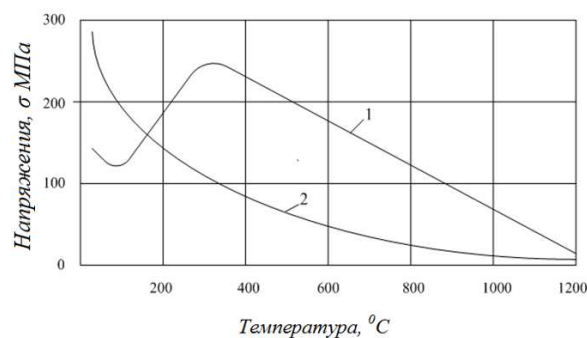
Сталь 12X17 не испытывает $\gamma \leftrightarrow \alpha$ – превращения, в отличие от быстрорежущей стали, закаливающейся даже на воздухе. Из данных рисунка 2 видно, что при охлаждении образцов из стали P18 с температуры 1200 °С наблюдается эффект кинетической пластичности при фазовом превращении, который проявляется в снижении временных напряжений в интервале мартенситных температур. Максимум напряжений на кривой формирования временных напряжений в стали составляет ~ 240 °С, что довольно близко температуре начала мартенситного превращения стали P18 при её закалке с температуры $T_n = 1200$ °С, а минимум 100 °С соответствует таким температурам, лежащим выше температуре конца мартенситного превращения ($M_k^{усл} > M_k$), когда степень превращения уже достаточно велика, и за счет образования прочного «каркаса» из многочисленных мартенситных кристаллов возрастает предел текучести, а пластичность сплава начинает уменьшаться.

Таблица 1

Химический состав сталей P18 и 12X17

Класс стали	Марка стали	Химический состав, в %					
		C	Si	Mn	Cr	W	V
М	P18	0,74	0,39	0,27	4,09	18,5	1,25
Ф	12X17	0,1	0,65	0,7	17,5		

Из данных рисунка 2 видно, что в интервале мартенситного превращения временные напряжения снижаются в полтора–два раза по сравнению с величиной напряжений, накопившихся в аустенитной области.



Сталь: 1.P18; 2.12X17;

Рис. 2. Формирование временных напряжений в образцах из сталей P18 и 12X17

При дальнейшем охлаждении ниже температуры $M_k^{усл}$ напряжения возрастают до 120–180 МПа за счет некоторого увеличения количества мартенсита. При охлаждении образцов из стали 12X17 ввиду отсутствия фазового превращения эффект кинетической пластичности не проявляется. С повышением температуры напряжения непрерывно увеличиваются и достигают значений, значительно превышающих остаточные напряжения в стали P18, претерпевшей мартенситное превращение. При нагреве образцов до 800 °С, что ниже температуры A_{c1} ввиду отсутствия фазового превра-

щения как в ферритном, так и в закаливающемся металле типа стали P18, при охлаждении эффект кинетической пластичности не наблюдается, и напряжения непрерывно возрастают. Результаты исследования показали, что в хромовольфрамовом быстрорежущем металле наблюдается эффект повышенной пластичности в момент протекания мартенситного превращения.

Нами была предпринята попытка определения роли эффекта сверхпластичности в релаксации временных напряжений непосредственно в образцах из хромовольфрамового закаливающегося металла. С этой целью производилось определение относительного удлинения δ , характеризующего пластичность металла. Исследования производились на образцах из наплавленного металла типа 3X2B8 и P18. Как известно [1], для этих инструментальных сталей определение характеристик пластичности, и в частности δ , не производится.

Образцы из инструментальных сталей разрушаются при нагружении хрупко, без видимых следов пластической деформации. Определение характеристик пластичности инструментального наплавленного металла в интервале мартенситного превращения ранее не производилось, и такие данные в литературе отсутствуют.

Если гипотеза об определяющей роли сверхпластичного состояния в релаксации временных напряжений достоверна, то при дополнительном растяжении образца в момент мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения можно достичь значительной величины относительного удлинения. Большие значения относительного удлинения характеризуют, как известно, состояние сверхпластичности.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Образцы из наплавленного металла готовились для металлографических исследований на установках тепловой микроскопии. После полировки и травления производилась разметка центральной зоны образца на базе 10 мм, в которой распределение температуры достаточно равномерно. Реперные точки наносились на микротвердомере ПМТ–3 через 0,25 мм. Исследования производились на установке тепловой микроскопии «АЛА–ТОО». Образцы нагревались в вакуумной камере установки до температуры 1150 °С. В процессе испытаний замеряли расстояние между реперными точками холодного образца до и после нагрева и перед началом мартенситного превращения. Погрешность измерения удлинения в рабочей зоне не более $\pm 0,01$ мм. Замер осуществлялся с помощью высокотемпературного микроскопа МВТ–71. При охлаждении производилось нагружение образцов растягивающими напряжениями по различным схемам. В первом случае напряжения, возникающие при температурном укорочении образца при охлаждении, компенсировались с помощью электромеханического привода нагружения, так, что величина растягивавших напряжений перед началом мартенситного превращения составляла примерно 10–20 МПа. Получаемая при этом величина относительного удлинения характеризует лишь увеличение объема, которым сопровождается мартенситное превращение. Во втором случае в интервале мартенситного превращения производилось периодическое растяжение образца вплоть до его разрушения. Повышенные характеристики пластичности свидетельствуют о сверхпластичном состоянии. Результаты исследования представлены в таблице 2. Видно, что относительное удлинение, получаемое в первом случае за счет увеличения объема, составляет в инструментальных сталях 3–4 %, что довольно точно согласуется с данными об объемном эффекте мартенситного превращения для соединений железа. Растяжение образцов в интервале мартенситного превращения позволяет получить значительно, в 5–10 раз, большее значение относительного удлинения. Влияние условий нагружения на величину относительного удлинения хромовольфрамовых сталей показано в таблице 2.

Такие значения пластичности свидетельствуют об определяющей роли кинетической пластичности (сверхпластичности) в релаксации временных напряжений в хромовольфрамовом наплавленном металле.

Релаксацию напряжений можно использовать для регулирования напряженного состояния в процессе наплавки и предотвращения образования холодных трещин в наплавленном хромовольфрамовом металле [3].

Таблица 2

Влияние условий нагружения на величину относительного удлинения хромовольфрамовом наплавленном металле

Тип металла	Относительное удлинение δ , %	
	При условии компенсации температурного укорочения	Перед разрушением образца под действием максимальных растягивающих напряжений
3X2B8	3 – 4	30 – 35
P18	3 – 4	15 – 20

Выводы

1. Показано, что в наплавленном хромовольфрамовом металле наблюдается эффект повышенной пластичности в момент мартенситного превращения и его можно использовать для релаксации напряжений в процессе наплавки и предотвращения холодных трещин.

2. Показана определяющая роль сверхпластичности в релаксации временных напряжений в хромовольфрамовом металле.

Литература.

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали /Ю.А. Геллер – М.: Металлургия, 1975. – 584с.
2. Гуляев А.П., Сармянова Л.М. Технологическая пластичность быстрорежущих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1969. – №7. – С. 2–9.
3. Малушин Н.Н. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями / Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 358 с.

ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО ТЕПЛОСТОЙКОГО МЕТАЛЛА ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ

Н.Н. Малушин, к.т.н., доц., В.Л. Осетковский, инж., Д.В. Валуев**, к.т.н., доц.
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк ул. Кирова, 42 т.46-32-91, факс: (8-3843) 46-57-92,
E-mail : n malushin@mail.ru*

**ОАОЕвразЗСМК, г. Новокузнецк, E-mail :Vasiliy .osetkovskiy@evraz.com*

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-22-48.

E-mail: valuevden@rambler.ru

Для анализа сварочных термомодеформационных циклов и исследований свойств наплавленного быстрорежущего металла широко применяется метод температурной (тепловой) микроскопии, который совмещает достоинства микроскопических и фрактографических методов, а также методов испытания механических свойств металлических материалов [174, 175].

Преимущества метода температурной микроскопии наглядно проявляются при изучении термосилового воздействия на сталь. Обычный метод – закалка не позволяет устанавливать, например, особенности кинетики формирования и роста зерен аустенита, определять продукты его распада при различных режимах термомодеформационного воздействия и др., в то время как метод температурной микроскопии имеет широкие возможности.

Этот метод полезен при проведении исследований, связанных с выбором химического состава и конструирования заданной структуры металлических материалов, в том числе сварных соединений и наплавленного металла, а также при прогнозировании поведения сварных соединений в условиях изменения сварочных термомодеформационных циклов, в определенной степени моделирующих реальные технологические процессы и условия эксплуатации.

При исследовании современных материалов, в том числе сварных соединений и наплавленного металла, имеющих сложную гетерогенную структуру, и для решения различных научных и технологических задач с помощью этого метода тепловой микроскопии нами были использованы специализированные установки типа ИМАШ–5С–69 и ИМАШ–20–75 [1].

В установках предусмотрена возможность проведения испытаний в вакууме или газовых средах. В установках температурной микроскопии есть нагревательное и нагружающее устройства, что позволяет моделировать различные реальные схемы технологических процессов. Практически все технологические процессы можно представить как ряд последовательных нагревов и охлаждений и параллельно – температурно-силовых воздействий. С помощью высокотемпературного микроскопа можно одновременно осуществлять непосредственное наблюдение за структурными изменениями, происходящими при моделировании, и фиксировать количественные параметры термомодеформационного воздействия на изменение структуры и зарождение разрушения. Особенности теплового режима сварки, а именно: высокая температура нагрева и высокие скорости нагрева и охлаждения определяют своеобразие перечисленных процессов в сварных соединениях и наплавленном металле.