

## ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И КОЭФФИЦИЕНТА ДВУХОСНОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ НА ЗОНУ ПЛАСТИЧНОСТИ

*Прокопьев Л.А.<sup>1</sup>, Андреев Я.М.<sup>1</sup>, Семёнов С.О.<sup>1</sup>, Лукин Е.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук;

<sup>2</sup>Институт физико-технических проблем Севера им В.П. Ларионова  
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск

**Ключевые слова:** хладостойкость, зона пластичности, степень двухосности напряженного состояния.

**Аннотация.** Исследовано совместное влияние низких температур эксплуатации ответственных металлических конструкций и коэффициента двухосности напряженного состояния у вершины трещины на размер зоны пластичности. По результатам исследований, выявлено, что низкие температуры и меньшие значения  $T$ -напряжений повышают риск перехода от квазихрупкого к хрупкому типу разрушения.

## INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES AND THE COEFFICIENT OF STRESS STATE BIAXIALLITY ON THE PLASTICITY ZONE AT THE CRACK TIP

*Prokopyev L.A.<sup>1</sup>, Andreev Ya.M.<sup>1</sup>, Semenov S.O.<sup>1</sup>, Lukin E.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science;

<sup>2</sup>V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the  
Siberian Branch of the RAS, Yakutsk

**Keywords:** cold resistance, plasticity zone, degree of stress state biaxiality.

**Abstract.** The joint effect of low operating temperatures of metal constructions and the stress state biaxiality coefficient at the crack tip on the size of the plasticity zone is studied. According to the research results, it was revealed that low temperatures and lower  $T$ -stresses increase the risk of transition from quasi-brittle to brittle type of fracture.

Изменение свойств материала при понижении температуры, в виде увеличения предела прочности и предела текучести, приводящие к его охрупчиванию, довольно широко изучено. При этом, правильный выбор соответствующей условиям эксплуатации марки стали не всегда исключает возможность разрушения ответственных конструкций при низких климатических температурах эксплуатации. Как указывается в работах [1, 2], нарушение температурного режима сварки существенно снижает пластичность в местах концентрации напряжений, в сварных швах и в зоне термического влияния, при этом конструкция в целом остается подверженной к отрицательному влиянию низких температур. Считается, что зона пластичности сильно влияет на способность материала сопротивляться развитию трещины [3]. В свою очередь, исследователями в данной области показано, что несингулярные  $T$ -напряжения –  $T_x$  значительно влияют на напряженно-деформированное состояние у вершины трещины [4]. В связи с этим, поставлена цель настоящей работы – исследование

совместного влияния низких температур эксплуатации и коэффициента двухосности напряженного состояния у вершины трещины  $\beta$  на размер зоны пластичности.

С использованием критерия наибольшей энергии формоизменения Мизеса и современных уравнений механики разрушения, учитывающими несингулярные Т-напряжения, построены кривые (рис. 1), приблизительно описывающие границу зоны пластичности.

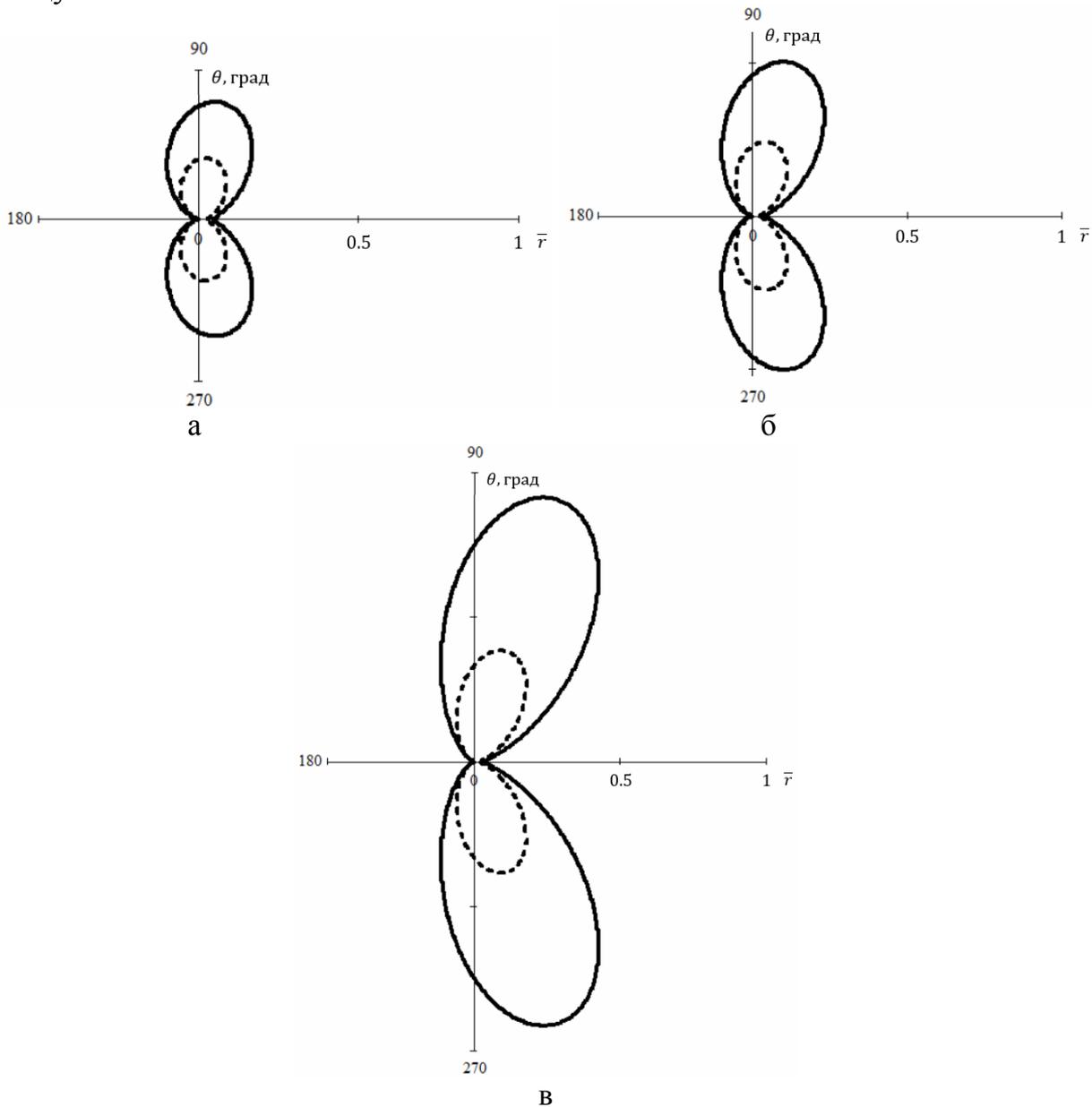


Рис. 1. Влияние температуры и коэффициента двухосности напряженного состояния на зону пластичности: а)  $\beta = 0.5$ , б)  $\beta = 1$ , в)  $\beta = 2$ ; непрерывная кривая соответствует  $t = 20^\circ\text{C}$ , штриховая кривая соответствует  $t = -50^\circ\text{C}$

Влияние понижения температуры на размер зоны пластичности связано со существенным увеличением предела текучести материала [5]. Кривые построены для плоско-деформированного состояния в полярных координатах ( $\bar{r} = r/r_0$  и  $\theta$ ) при трех разных значениях коэффициента двухосности напряженного состояния и двух разных значениях температуры (предела текучести). Начало координат соответствует вершине трещины.

Как видно из рисунка 1, чем выше коэффициент двухосности напряженного состояния и выше температура, тем больше размер зоны пластичности при одинаковых растягивающих нагрузках по первой моде нагружения. И наоборот, совместное влияние низких температур и меньшие значения  $T$ -напряжений обуславливают значительное уменьшение размера зоны пластичности, что может существенно снизить сопротивление к развитию трещины. Вышеописанные условия, таким образом, повышают риск перехода от условия маломасштабной текучести к хрупкому типу разрушения.

#### Список литературы

1. Квагинидзе В.С., Козлов В.А. Влияние низких отрицательных температур на работоспособность металлоконструкций горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – №9. – С. 16-18.
2. Маркадеева А.Ю., Ильин А.В., Гусев М.А. Исследование трещиностойкости зоны термического влияния сварных соединений сталей, применяемых для арктических конструкций // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2018. – №1. – С. 43-51. – doi.org/10.18323/2073-5073-2018-1-43-51.
3. Ларичкин А.Ю., Корнев В.М., Демешкин А.Г. Изменения зон пластичности и накопление повреждений с ростом трещины при малоцикловом нагружении квазихрупких материалов // Физическая мезомеханика. – 2016. – №4. – С. 38-48. – doi.org/10.24411/1683-805X-2016-00005.
4. Матвиенко Ю.Г. Несингулярные  $T$ -напряжения в критериях механики разрушения тел с вырезами // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – №4(5). – С. 2651-2652.
5. Сурикова Н.С., Евтушенко О.В., Павлюк В.А. Локализация деформации и особенности температурной зависимости предела текучести в монокристаллах на основе никелида титана // Физическая мезомеханика. – 2009. – №5. – С. 103-110. – doi.org/10.24411/1683-805X-2009-00003.

#### Сведения об авторах:

*Прокопьев Леонид Александрович* – научный сотрудник;  
*Андреев Яков Михайлович* – к.т.н., старший научный сотрудник;  
*Семёнов Семён Осипович* – младший научный сотрудник;  
*Лукин Евгений Саввич* – к.т.н., зам. директора по научной работе.