

## АНАЛИЗ ТРЕЩИНОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОБЫ «ТЭККЕН»

*М.А. Иванов, А.Г. АльРухайми*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Работа посвящена анализу трещиностойчивости пробы «Тэккен» при охлаждении ее после сварки. Проба «Тэккен» изготавливается по ГОСТ 26388–84 тип IX и предназначена для оценки склонности металла шва сварного соединения к склонности к образованию холодных трещин. Необходимо было установить запас технологической прочности сварного соединения и выявить критические места возможного образования трещин. В основу положен принцип оценки возникающих при сварке напряжений с временным сопротивлением разрыву, полученному при охлаждении образцов с высокой скоростью, характерной для сварного соединения.

Проведена численная оценка в ESI SYSWELD уровня напряжений в различных точках сварного соединения с учетом режима сварки, условий закрепления. Построены графики зависимости первых главных напряжений от температуры. При снижении трещиностойчивости ниже единицы вероятно образование трещин, так как в этом случае действующие напряжения превышают временное сопротивление разрыву.

Показано, что наиболее опасными являются зоны перехода от сварного шва к основному металлу при температуре 1020 °С и корень сварного шва после полного остывания. Разработанная методика анализа трещиностойчивости может быть использована для оценки других типовых сварных соединений и проб.

*Ключевые слова:* проба тэккен, трещиностойчивость, трещина, сварное соединение, холодные трещины.

Трещины в сварных швах образуются с завидным постоянством. Исследованием причин образования трещин занимались такие сварщики, как Н.Н. Рыкалин [1] и Н.Н. Прохоров [2]. В своей статье «Образование трещин при литье и сварке» совместно с литейщиками и металловедами Н.Н. Рыкалин говорит, что необходимо определять технологическую прочность металла шва при его охлаждении.

Сопротивляемость сплавов образованию горячих трещин названа трещиностойкостью сплавов. Так как трещиностойкость сплавов по Баландину [3] характеризует запас технологической прочности сплава, то она определяет весь температурный интервал и включает в себя температуры образования как горячих, так и холодных трещин. Необходимо различать трещиностойкость сплавов и конструкции.

Трещиностойкость сплава определяется при полном торможении усадки при охлаждении с различными скоростями [4]. Промежуточным результатом будут значения временного сопротивления разрыву при вы-

соких температурах, полученные после нагрева выше критических температур и охлаждения с различными скоростями.

Трещиностойкость конструкции (сварного соединения) определяется как отношение временного сопротивления разрыву  $\sigma_B(t)$  к действующим напряжениям в конструкции при различных температурах  $\sigma(t)$ , обусловленных усадкой, условиями закрепления и режимом сварки:

$$T_{\text{св}}^{\sigma}(t) = \frac{\sigma_B(t)}{\sigma(t)}. \quad (1)$$

Для оценки сопротивляемости сварного соединения против образования холодных трещин ГОСТ 26388–84 [5] рекомендует использовать пробу «Тэккен» тип 9. Она представляет собой плоский прямоугольный образец с продольной прорезью в центре, оформленной в виде V-образной разделки (рис. 1). Образец сваривается в свободном состоянии и выдерживается после сварки 20 ч. Трещины образуются в корневой части сварного соединения под действием высоких усадочных напряжений. Обязательное условие работы

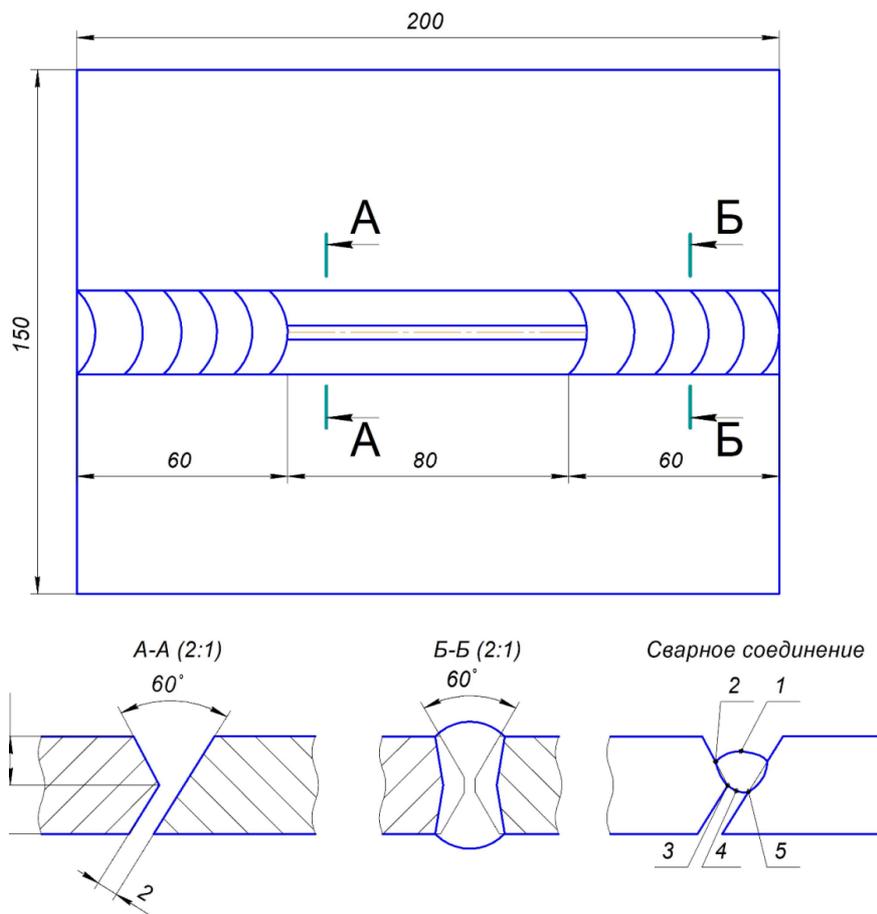


Рис. 1. Проба «Тэккен» по ГОСТ 26388–84

пробы – непровар в корне шва, который служит концентратором напряжений. Наличие трещин выявляется различными методами контроля, в том числе и протравливанием раствором азотной кислоты с последующим изломом образца.

При образовании трещин в качестве дополнительного сравнительно-количественного показателя склонности к холодным трещинам принимают процентное отношение суммарной длины трещины к длине шва или относительной площади трещины к площади продольного сечения шва. За количественный показатель стойкости против трещин принимают температуру подогрева, при которой уже не образуется трещин.

Смоделируем условия сварки пробы «Тэккен» в ESI SYSWELD для оценки уровня напряжений при охлаждении сварного соединения. Для этого построим конечно-элементную сетку (рис. 2).

Зададим следующие параметры сварки в соответствии с ГОСТ 26388–84. Сварка в смеси газов, погонная энергия 10,8 кДж/см, ско-

рость сварки 8,3 мм/с. Построим графики зависимости первых главных напряжений от температуры в точках (рис. 3), а также поле напряжений в центре пробы после полного остывания (рис. 4).

Сведем все необходимые данные в таблицу, такие как временное сопротивление разрыву из [4], напряжения при сварке, а также рассчитаем трещиностойкость сварного соединения в точках по выражению (1).

При снижении трещиностойкости ниже единицы вероятно образование трещин. Такие зоны обнаруживаются в точках 2 и 4 при температуре 1020 °С, причем точка 2 имеет наименьшее значение трещиностойкости и более высокие напряжения. После остывания наибольшие напряжения концентрируются в корне шва в точке 5 (см. рис. 4).

Таким образом, представленная методика оценки трещиностойкости сварного шва на примере пробы «Тэккен» показала вероятные зоны образования трещин в точке 2 при температуре 1020 °С и точке 5 после полного охлаждения.

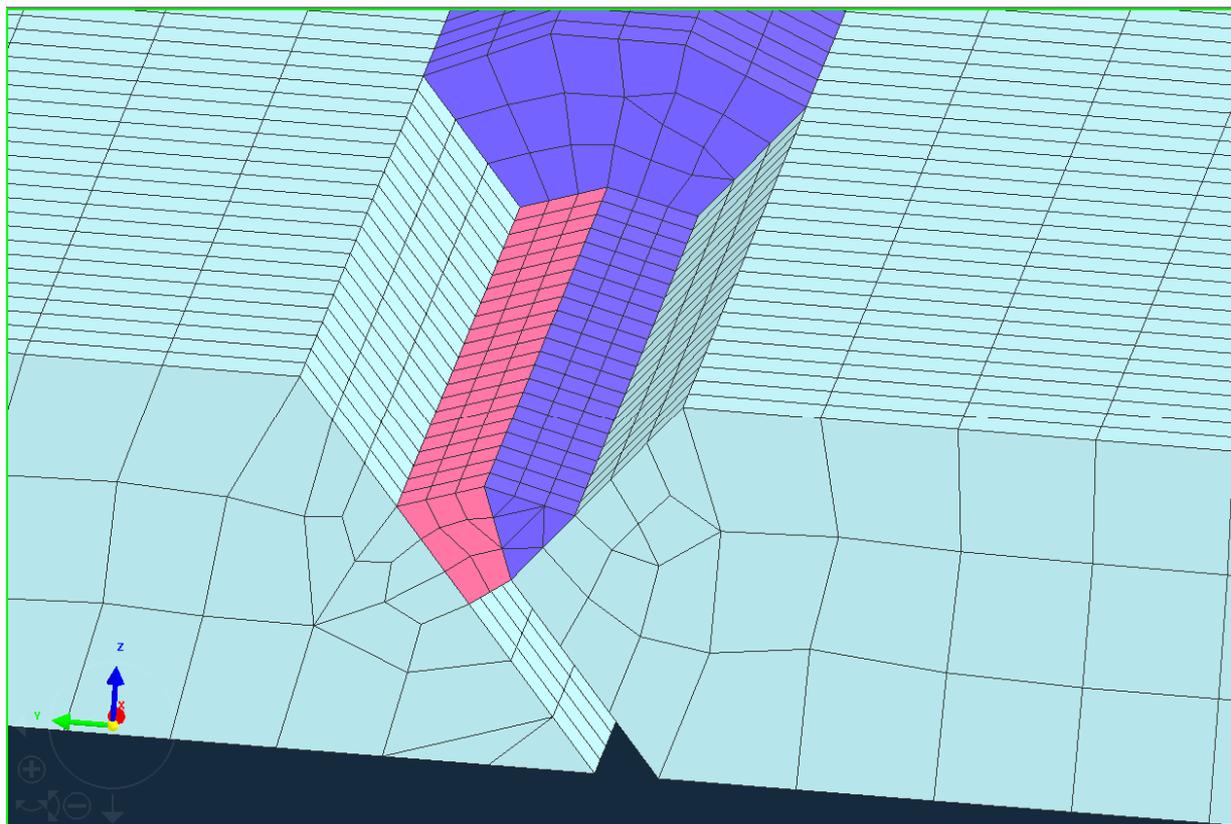


Рис. 2. Фрагмент конечно-элементной сетки

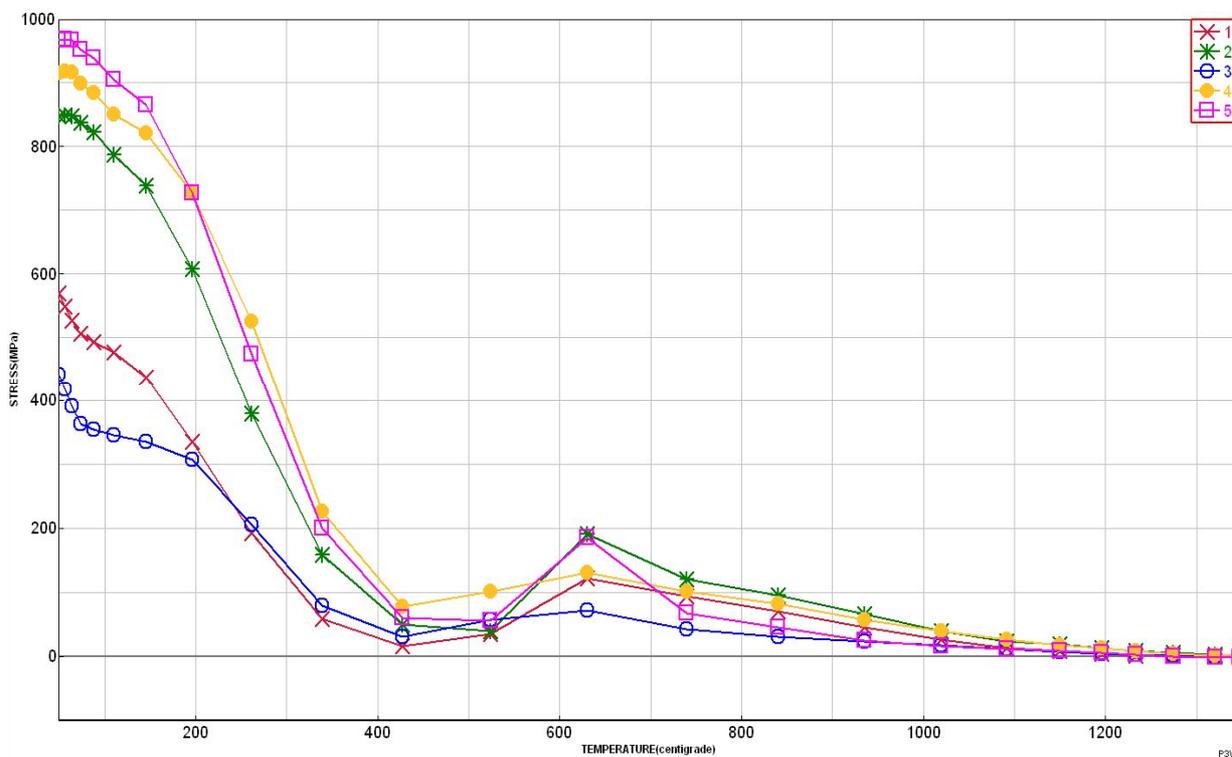


Рис. 3. Графики зависимости первых главных напряжений при охлаждении сварного соединения в точках (см. рис. 1)

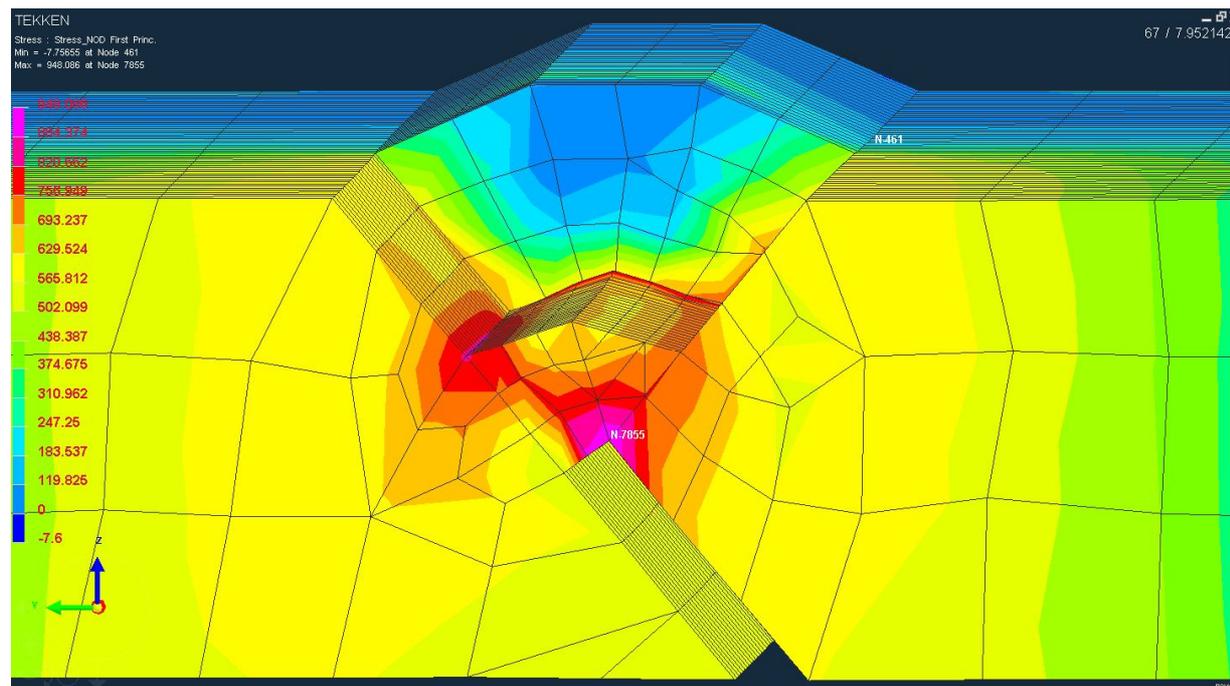


Рис. 4. Поле первых главных напряжений в центре пробы «Тэккен» после полного остывания

## Механические свойства стали 40Х, напряжения и трещиностойкость сварного шва в точках

Параметр, ед. изм.	Значение параметра при температуре, °С					
	1300	1020	740	640	330	20
$\sigma_B(t)$ , МПа	15,5	44,2	140	370	980	940
$\sigma(t1)$ , МПа	2,9	35,4	100	83,9	62	624
$\sigma(t2)$ , МПа	3,5	48,1	128	110,2	184,8	832
$\sigma(t3)$ , МПа	-0,2	9,2	42,8	69,1	93,01	441,5
$\sigma(t4)$ , МПа	4,4	45,1	117,5	163,3	263	899
$\sigma(t5)$ , МПа	-1,0	9,16	66,7	174,1	230,1	966,9
$T_{CB}^\sigma(t1)$ , ед.	5,3	1,2	1,4	4,4	15,8	1,5
$T_{CB}^\sigma(t2)$ , ед.	4,5	<b>0,92</b>	1,1	3,4	5,3	1,1
$T_{CB}^\sigma(t3)$ , ед.	1,00	4,8	3,3	5,4	10,5	2,1
$T_{CB}^\sigma(t4)$ , ед.	3,5	<b>0,98</b>	1,2	2,3	3,7	1,05
$T_{CB}^\sigma(t5)$ , ед.	1,00	4,8	2,1	2,1	4,3	<b>0,97</b>

**Литература**

1. К вопросу о горячих (кристаллизационных) трещинах при литье и сварке. / А.А. Бочвар, Н.Н. Рыкалин, Н.Н. Прохоров и др. // Литейное производство. – 1960. – № 10. – С. 47.

2. Прохоров, Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. Т. 2: Внутренние напряжения и деформации / Н.Н. Прохоров. – М.: Металлургия, 1976. – 599 с.

3. Баландин, Г.Ф. Основы теории форми-

рования отливки / Г.Ф. Баландин. – М.: Машиностроение, 1979. – Ч. II. – 335 с.

4. Иванов, М.А. Методика определения трещиностойкости стали / М.А. Иванов // Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-прессовое, литейное и другие производства). – 2016. – № 12. – С. 9–14.

5. ГОСТ 26388–84. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением.

**Иванов Михаил Александрович**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ivanovma@susu.ru.

**АльРухайми Анмар Гариб**, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; anmarengineer10@gmail.com.

*Поступила в редакцию 31 октября 2017 г.*

---

DOI: 10.14529/met180107

### ANALYSIS OF THE CRACK RESISTANCE OF THE TEKKEN-SPECIMEN

**M.A. Ivanov**, ivanovma@susu.ru,

**A.G. AIRuhaimi**, anmarengineer10@gmail.com

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The work is focused on the analysis of the crack resistance of the TEKKEN-specimen during its cooling after welding. The TEKKEN-specimen is manufactured according to GOST 26388–84 type IX and is designed for estimation of propensity of the weld joint's metal to formation of the cold cracks. It was necessary to establish the margin of technological safety of the welded joint and to reveal the critical places of possible cracks. The basis is the principle of assessing the welding stresses with yield stress, obtained by cooling of samples with a high speed typical for a welded joint.

A numerical estimation of a stress level in various points of a welded joint with allowance for a welding mode, conditions of fastening is made in ESI SYSWELD. Dependency graphs of the first main stresses on temperature were built. With a reduction of a crack resistance below one, it is probably the formation of cracks, because in this case the acting stresses exceed the yield stress.

It is shown the most dangerous things are the transition zones from the weld joint to the base metal at a temperature of 1020 Celsius, and the root of the weld joint after full cooling. The developed analysis method of crack resistance can be used to evaluate other typical welded joints and samples.

*Keywords: TEKKEN-specimen, crack resistance, crack, weld joint, cold cracks.*

#### References

1. Bochvar A.A., Rykalin N.N., Prokhorov N.N., Novikov I.I., Movchan B.A. [On the Issue of Hot (Crystallization) Cracks in Casting and Welding]. *Liteynoe proizvodstvo* [Casting], 1960, no. 10, p. 47. (in Russ.)
2. Prokhorov N.N. *Fizicheskie protsessy v metallakh pri svarke. Tom 2: Vnutrennie napryazheniya i deformatsii* [Physical Processes in Metals During welding. Vol. 2: Internal Stresses and Deformations]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 599 p.
3. Balandin G.F. *Osnovy teorii formirovaniya otlivki* [Fundamentals of the Theory of Casting]. Part II. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 335 p.
4. Ivanov M.A. [Method for Determination of the Crack Resistance of Steel]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii (kuznechno-pressovoe, liteynoe i drugie proizvodstva)* [Blanking Productions in Mechanical Engineering (Press Forging, Foundry and Other Productions)], 2016. no. 12, pp. 9–14. (in Russ.)

5. GOST 26388–84. *Soedineniya svarnye. Metody ispytaniy na soprotivlyaemost' obrazovaniyu kholodnykh treshchin pri svarke plavleniem* [State Standard 26388–84. Welded Joints. Test Methods on Resistance to Cold Crack Formation under Fusion Welding].

*Received 31 October 2017*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Иванов, М.А. Анализ трещиностойчивости пробы «Тэккен» / М.А. Иванов, А.Г. АльРухайми // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 52–57. DOI: 10.14529/met180107

**FOR CITATION**

Ivanov M.A., AlRuhaimi A.G. Analysis of the Crack Resistance of the TEKKEN-Specimen. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 52–57. (in Russ.) DOI: 10.14529/met180107

---