

---

**МОДЕЛИРАНЕ НА ТОПЛИННИТЕ ПРОЦЕСИ ПРИ  
МАШИННА ПРОБА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА  
СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА СТОМАНИ КЪМ ОБРАЗУВАНЕ НА  
СТУДЕНИ ЗАВАРЪЧНИ ПУКНАТИНИ**

**Пламен Ташев**  
[weld@abv.bg](mailto:weld@abv.bg)

*Институт по металознание, съоръжения и технологии "Акад. Ангел Балеvски" с  
център по хидро и аеродинамика – Варна, Център по заваряване  
Ул. "Шипченски проход" 67, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** заваряване, високояки стомани, студени пукнатини, машинна проба, моделиране, температурен модел*

***Резюме:** Представена е нова машинна проба за определяне на съпротивлението на високояки стомани срещу образуването на студени заваръчни пукнатини. Разработен е температурен модел на завареното съединение, основна част от състава на пробата. Направени са изводи за областите на приложение на разработения модел.*

**1. Актуално състояние на изследванията**

Използването на високояки стомани за заварени конструкции в много сектори на индустрията е затруднено поради тяхната неустойчивост по отношение образуването на студени пукнатини.

Студените пукнатини имат забавен характер и възникват в зоната на термично влияние на заварените съединения след изстиване. Нарастването на студените пукнатини може да предизвика разрушаване на завареното съединение. Неоткритите пукнатини водят много често до разрушаване и аварии по време на експлоатация.

Причините за студените пукнатини са критична комбинация от съдържание на водород, структура на материала и остатъчни опънови напрежения. Поради това, полезните и целеви изпитвания за устойчивост срещу студени пукнатини трябва да отчитат всички условия, свързани със свойствата на материалите, конструкцията и използваните методи на производство.[1-7]

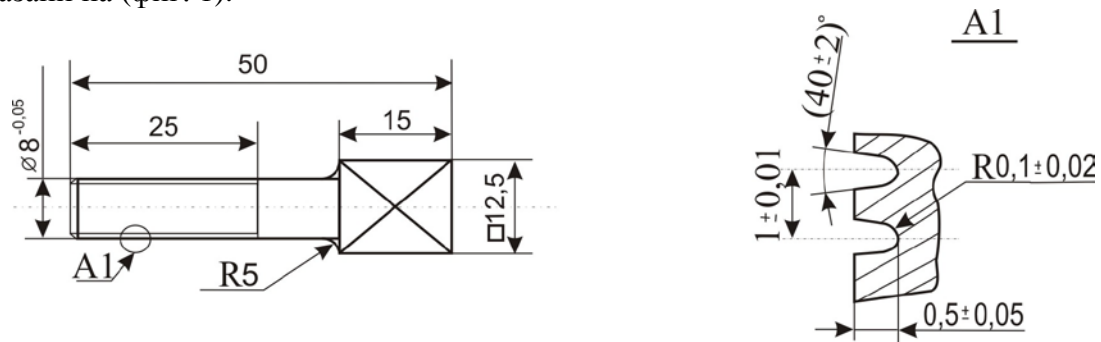
Важен дял при разработването на нова проба за изпитване може да има численото симулиране на заваръчните процеси. Много от разработките през последните години в областта на студените пукнатини са свързани със симулиране на термичните процеси протичащи в заварените съединения.

**2. Същност на пробата. Принципна схема.**

В ИМСТЦХ БАН е разработена машинна проба за изпитване на съпротивлението на високояки стомани към образуването на студени заваръчни пукнатини.[8]

За реализирането на пробата е разработено заваръчно приспособление, което се захваща към въртящата се маса на заваръчния манипулатор.

От изпитвания материал се изработват пробни образци с форма и размери показани на (фиг. 1).



**Фиг. 1** Форма и размери на пробните образци

Пробния образец се състои от квадратна глава, която се захваща на лостовата система за натоварване, и от цилиндрична част с винтов надрез за инициране на пукнатината.

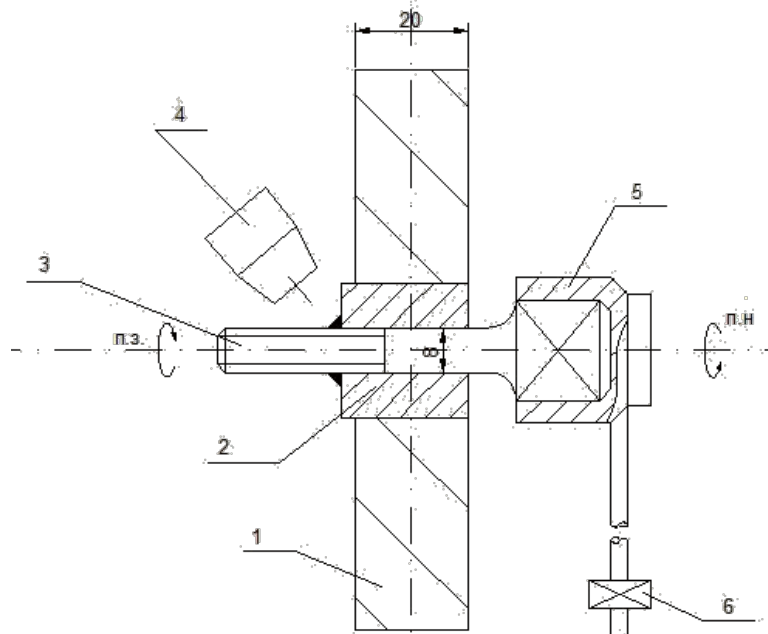
Образца се поставя в отвор изпълнен в плоча изработена от нисковъглеродна стомана S235 (или в отвор на втулка изработена от изпитваната стомана захваната в съставна топлоотвеждаща плоча от стомана S235).

Пробния образец и плочата се захващат в машинната проба, която дава възможност за осъществяване на заваръчния процес и последващо натоварване на завареното съединение (фиг. 2).

Планката с пробния образец се върти посредством манипулатор със скорост на заваряване  $V_3$ .

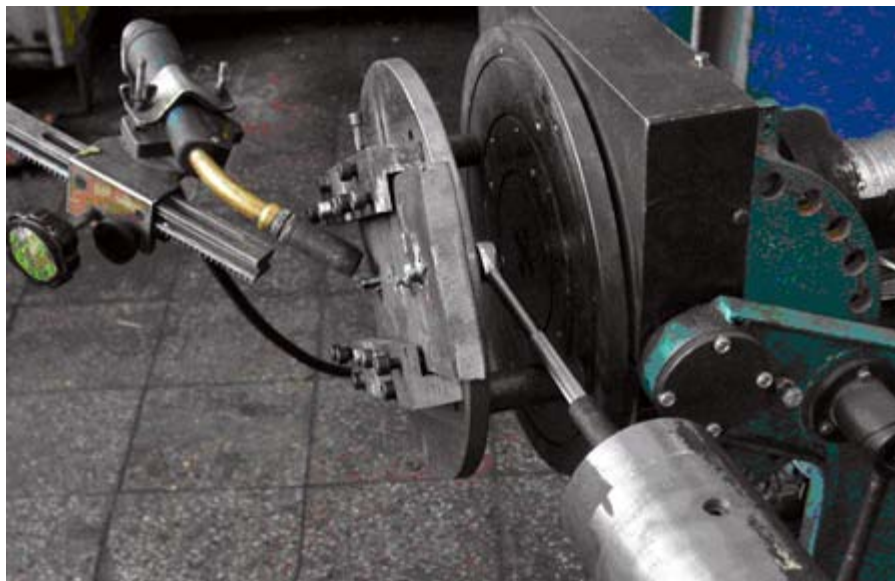
Изпълнява се ъглов шев по затворен контур (или част от затворен контур). Процеса се реализира с неподвижна заваръчна горелка.

След прекратяване на заваряването при достигане на предварително определена температура се прилага натоварване на срязване чрез лостова система, която позволява натоварване в избрана посока (по посока на заваряването или обратно).



**Фиг. 2** Схема на изпълнение на заваръчния шев и прилагане на натоварването. 1 - Планка; 2 - Втулка; 3 - Пробен образец; 4 - Заваръчна горелка; 5 - Система за измерване на натоварването; 6 - Система за натоварване

На снимката от (фиг.3) е показана установката за заваряване и натоварване. Цел на настоящата разработка е моделиране на топлинните процеси, които протичат в завареното съединение подлежащо на изпитване с машинната проба.



Фиг.3 Установката за заваряване и натоварване при изпитване

### 3. Описание на модела

Моделът обхваща процеса на нагриване и охлаждане на заваряваното съединение и дава информация за температурите, температурните градиенти и топлинните потоци в различните точки от неговия обем, във всеки избран момент на процеса.

За разработването на модела са използвани възможностите на Ansys за моделиране на топлообмен.

Формата, размерите, движението и енергийните параметри на модела съответстват на реалното изследователско устройство.

Моделният образец и моделираната планка отговарят на реалните размери на детайлите в машинната проба.

Двете части на заваряваното съединение се свързват с кръгов заваръчен шев. В резултат на заваръчен процес се получава ъглов шев, който свързва двата детайла.

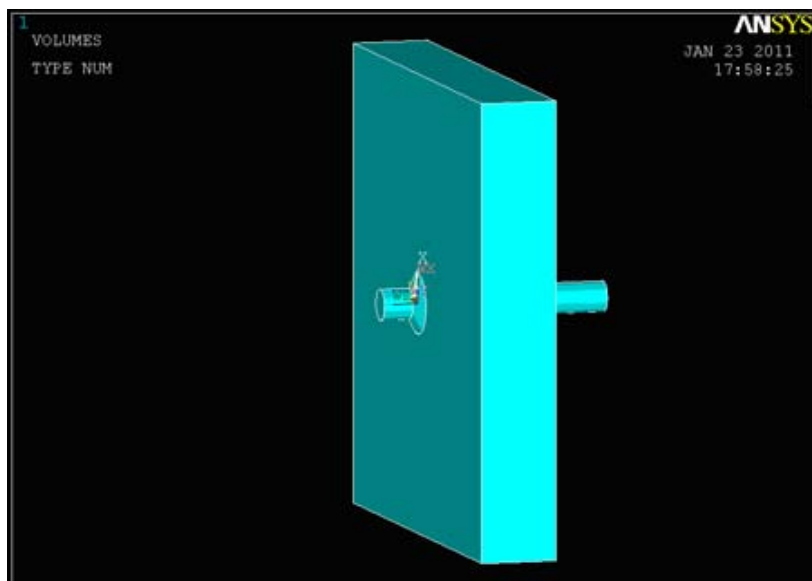
При стопяването поради високата температура се получава взаимно проникване на материал на шева и материал на цилиндричното тяло и материал на шева и планката, в резултат на което възниква съединението.

Завъртането на заваряваното съединение е повече от пълна обиколка, с цел припокриване на кратера който се получава в началото на шева. С припокриването на кратера се постига необходимото качество на съединението. Продължителността на заваръчния процес се определя от избрания метод на заваряване, размерите на образца и от режима на заваряване. В разглеждания конкретен случай на МАГ заваряване процеса е с продължителност от б(шест) секунди.

Общият изглед на завареното съединение е показан на (фиг. 4).

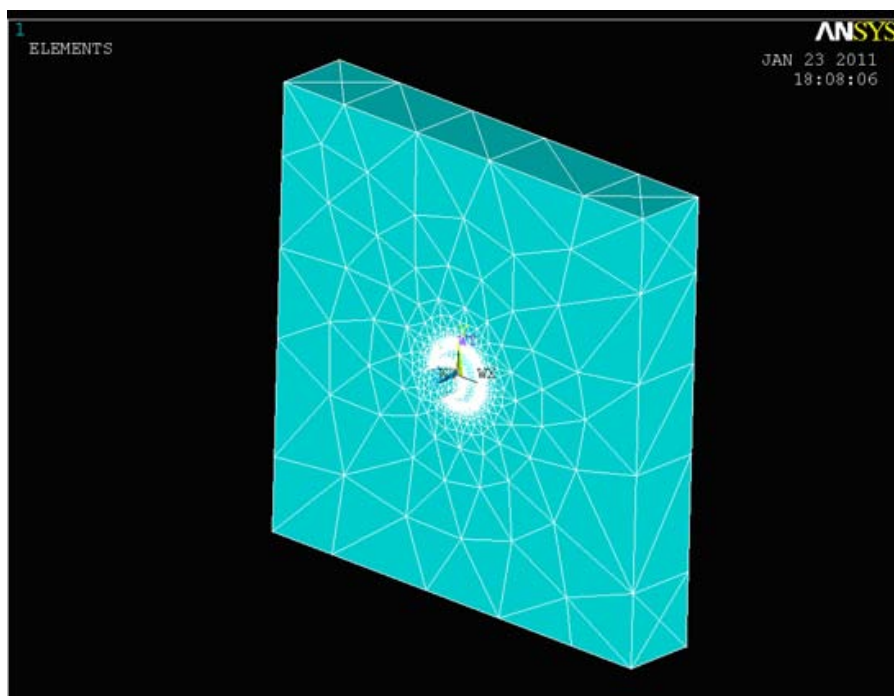
Моделът е 3-измерен. Материалът за изпитваните образци е стомана S960QL. Методът на заваряване е МАГ.

Подаваната заваръчна мощност е 1900 Вата. За разлика от моделите с прав заваръчен шев, при които се прилагат частични модели с адиабатна разделителна повърхност, тук това опростяване е невъзможно, защото няма огледална симетрия на образца.



**Фиг.4.Общ изглед на образца**

Приложен е кълбовиден енергиен източник. Съображенията за този избор са, че какъвто и да е източникът, много бързо температурните изоповърхности в материала придобиват кълбовидна форма. Кълбовидната форма осигурява повече енергия в средата на шева отколкото в периферните зони и така се доближава до източник с нормално разпределение. От друга страна, на разпределението на енергията в близост до енергийния източник влияе омрежването в зоната на подаването на енергия, така че чрез подходящо омрежване могат да се постигат реалистични резултати. Омрежването на елементите на завареното съединение е показано на (фиг.5).

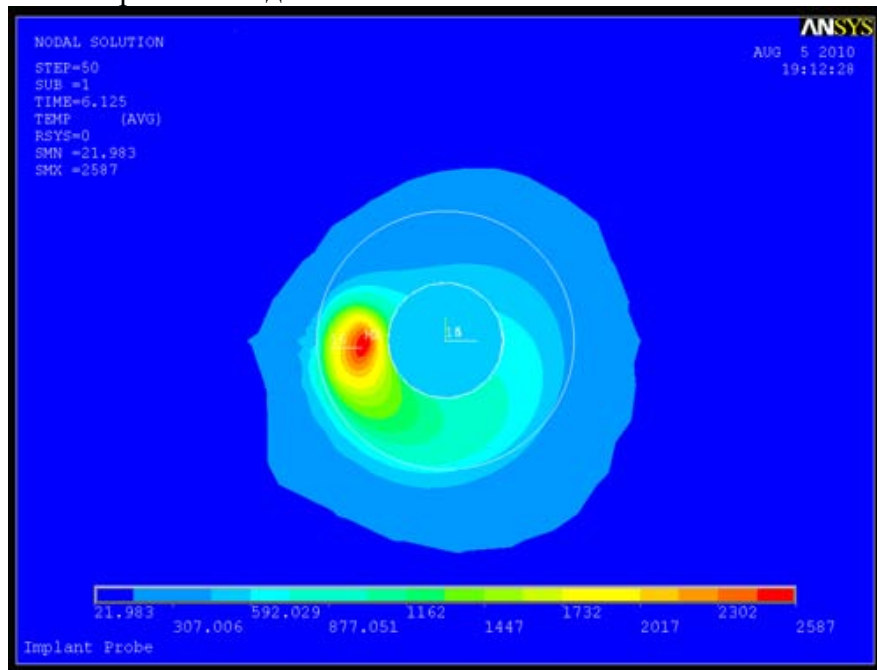


**Фиг.5 Елементи на образца след омрежване**

Модела изисква задаване на началната температура на образца ( в случая тя е 22°C). Предвидена е възможност да се моделира предварително подгриване.

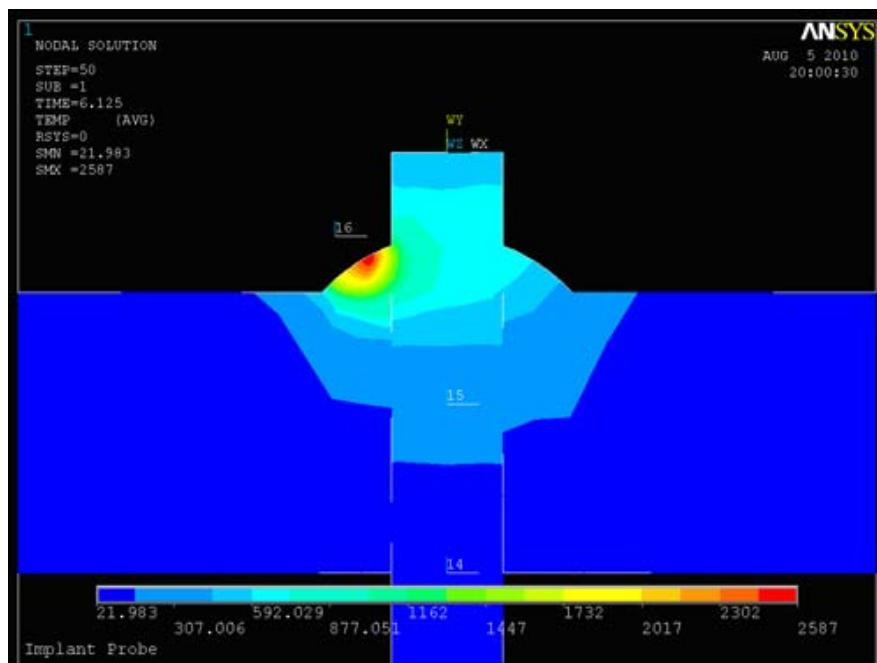
Използва се транзиентен тип времезависим анализ с автоматично определяне на подстъпките.

На (фиг. 6) е показано увеличено изображение на температурното поле на кръговия заваръчен шев „поглед отгоре”, а на (фиг.7) температурното поле при напречен разрез на завареното съединение.



Фиг. 6. Температурно поле в края на заваръчния процес

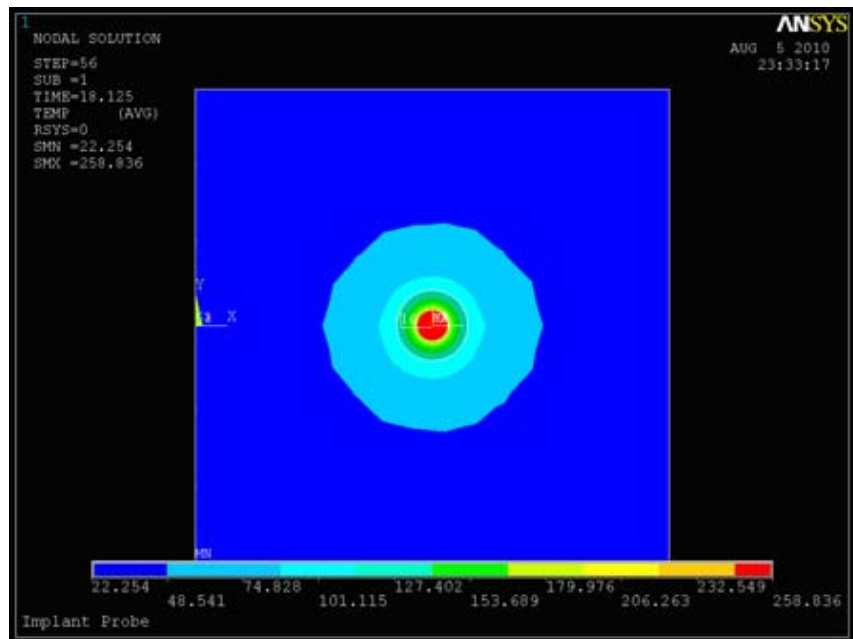
Вертикалният разрез преминава по диаметър на образеца с начална точка „край на заваръчния процес”. (фиг.7).



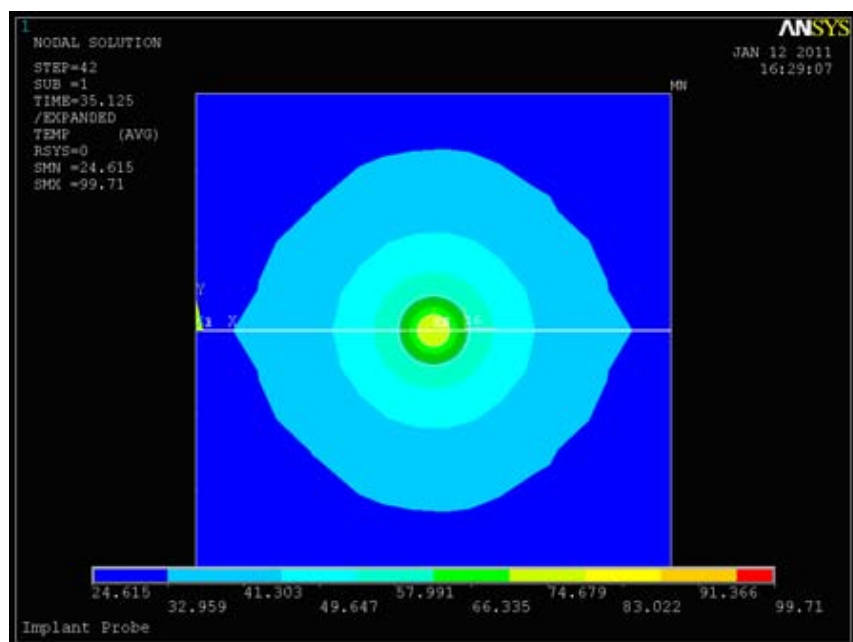
Фиг.7. Разрез по диаметър на образеца с начална точка „край на заваръчния процес”.

Моделиран е процесът на охлаждане и разпределението на топлината в масата на образеца чрез топлопроводност.

На (фиг.8) е показано температурното поле 12 сек. след приключване на заваръчния процес. Максималната температура в завареното съединение е 250°C.



**Фиг. 8.** Температурно поле 12 сек. след края на заваръчния процес



**Фиг. 9.** Температурно поле 35 сек. след края на заваръчния процес

На (фиг. 9) е показано температурното поле на кръговия заваръчен шев след изстиване от 35 секунди, при което максималната температура на образеца спада до около 100°C.

Моделът позволява определяне на време-температурния цикъл на всяка точка от изследваната област. Особено важна е възможността за определяне на скоростите на охлаждане от точките от зоната на термично влияние разположени в близост до концентраторите на напрежение където се очаква да се зародят студените пукнатини и да започне разрушаването

Настройването на модела се извършва посредством опитно заснемане на температурното поле с помощта на термодвойки разположени в характерни точки. Такива са точките по оста на образеца, в зоната на термично влияние, разположени по

контактната повърхност пробен образец – планка. Други характерни точки се намират на предната челната цилиндрична повърхност на опитния образец

#### **4. Изводи. Област на приложение на модела.**

Разработеният температурен модел дава възможност за предварително проиграване на различни методи на заваряване. Той позволява прогнозирането на получаваните структури в зависимост от концентрацията на енергията специфична за съответния източник на заваряване.

След избора на метод на заваряване е възможно тестване на режими на заваряване с различна линейна енергия и оценка на въздействието ѝ върху разпределението на топлината и скоростите на охлаждане във важни точки от зоната на термично влияние.

Успешно се изследва влиянието на избора на основния и на допълнителните материали на заваряване върху термичните цикли.

С помощта на топлинният модел се установява колко време е необходимо за изстиване на пробния образец след края на заваряването, за да се натовари завареното съединение. Примерно: при ръчно електродъгово заваряване с обмазани електроди натоваването е необходимо да се извърши след изстиване на завареното съединение под температура от 100°C. От (фиг.9) е видно, че това може да стане 35 секунди след края на процеса.

Моделът ни дава възможност да определяме скоростите на нагриване и охлаждане в интересувашите ни области от зоната на термично влияние, за които от диаграмите на съответните стомани можем да предвидим какви структурни промени биха се получили в резултат на приложения заваръчен термичен цикъл.

В заключение можем да твърдим, че моделирането на топлинните процеси спестява време и материални разходи необходими за експериментално определяне на температурното поле за всеки конкретен случай и подпомага в голяма степен възможностите за анализирането на процесите и онагледяването на получените резултати.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] DVS-RICHTLINIE 1006: Kaltrissprüfverfahren, Übersicht
- [2] UWER, D., HÖHNE H.: Charakterisierung des Kaltrissverhaltens von Stählen beim Schweißen, Schweißen u. Schneiden, 43, 1991, H.4, S. 195-199
- [3] GRANJON, H.: Information on Cracking Tests IIS/IIW-93-62 (ex-doc IX-290-61)
- [4] CHRISTOV, S.: A possibility of complex estimation of the weld cold cracking resistance, Ninth European Conference on Fracture (ECF-9) "Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials", 21-25.09.92, Varna, Bulgaria, EMAS, 1992, Vol.II, p.963-970
- [5] MICHAILOV, V.: Bewerten der Kaltrissneigung, Braunschweig-Kolloquium, Qualitätssicherung in der Schweißtechnik, 3./4., Nov. 1994
- [6] ZIMMER, P., KANNENGIEßER, Th., Florian, W., Böllinghaus, Th.: Kaltrissprüfung für hochfeste Feinkornbaustähle, DVS-Berichte Bd. 232, DVS-Verlag Düsseldorf 2004, S. 207-214
- [7] ZIMMER, P.: Zur Bewertung der Kaltrissicherheit von Schweißverbindungen aus hochfesten Feinkornbaustählen, Dissertation, BAM-Dissertationsreihe, Band 29, Berlin 2007
- [8] ТАШЕВ П., ХРИСТОВ С., АЛЕКСИЕВ Н., Оценка на склонността към образуване на студени пукнатини на кръгови шевове при високояки стомани на прътови или тръбни конструкции с малък диаметър, Сборник доклади 26 Международна Научна Конференция „65 години МТФ”, Созопол, септември, 2010, стр.77-81