

## **THE RESEARCH OF RESIDUAL STRESS REDUCTIONS AT PRODUCTS**

**P. Macura\*, A. Fiala \***

**Summary:** *The paper is devoted to the research of measurement and residual stress reduction at products. The attention was paid mainly to the rails, spiral welded tubes and weldments. The technological process treatment of production, pressure testing, annealing and vibration were examined for the residual stress reduction. The gained experiences and results make possible to review the influence of single methods on the residual stress change at the investigated products.*

### **1. Úvod**

Zbytková napětí, vznikající a zůstávající v součástech po technologickém procesu jejich výroby, mohou výrazně ovlivnit výslednou napjatost po mechanickém zatížení a zároveň i jejich životnost. Proto byly pro řadu výrobků např. pro železniční dopravu vypracovány evropské normy, které stanoví maximální přípustné hodnoty zbytkových napětí v těchto výrobcích a současně předepisují i postupy, jakými mají být tato zbytková napětí měřena. Dodržet tyto přípustné normované hodnoty je pro výrobce mnohdy obtížné a proto musí hledat cesty, jak úroveň zbytkových napětí ve svých výrobcích snížit. V příspěvku jsou dále uvedeny výsledky výzkumu a měření, provedených za účelem snížení zbytkových napětí u některých vybraných výrobků.

### **2. Způsoby snižování úrovně zbytkových napětí**

Vhodný způsob ke snížení zbytkových napětí je závislý na konkrétním výrobku, ve kterém chceme tato napětí snížit. Někdy je snížení zbytkových napětí možno dosáhnout úpravou stávajícího technologického procesu výroby, jindy je nutno zařadit speciální technologickou operaci.

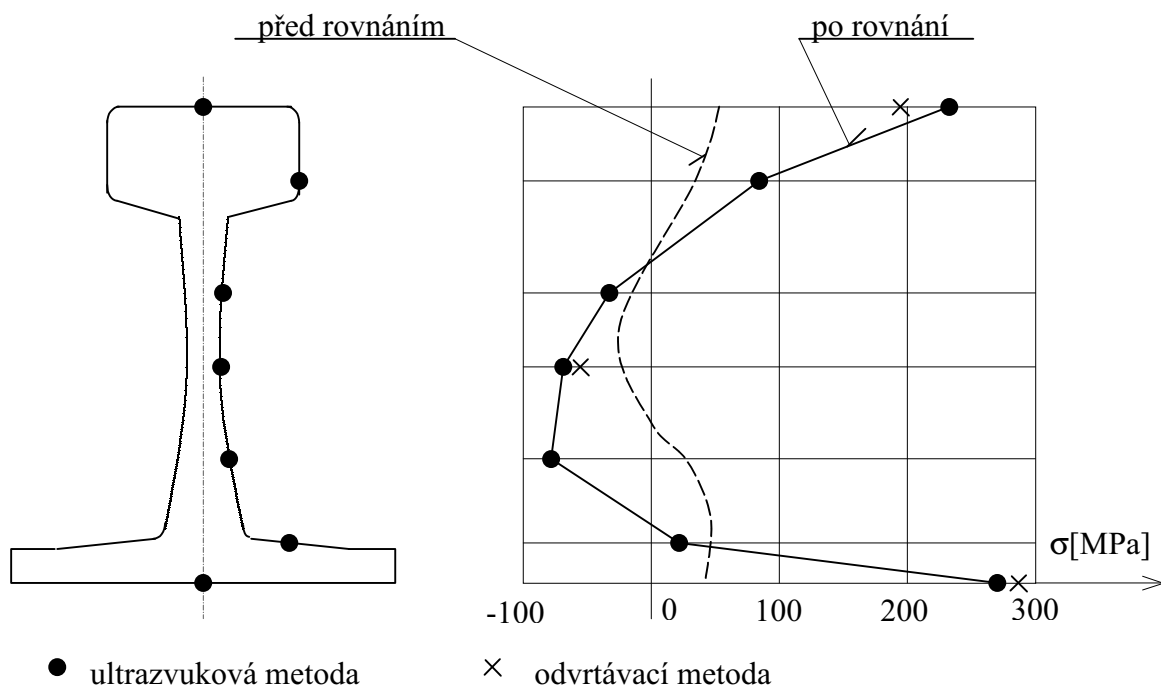
#### **2.1. Úprava technologického procesu výroby**

Tento způsob byl zkoumán a použit při hledání cesty ke snížení zbytkových napětí v železničních kolejnicích. Zbytková napětí v nich mohou vznikat v technologickém procesu výroby jednak v důsledku nerovnoměrného chladnutí vzhledem ke složitému profilu na

---

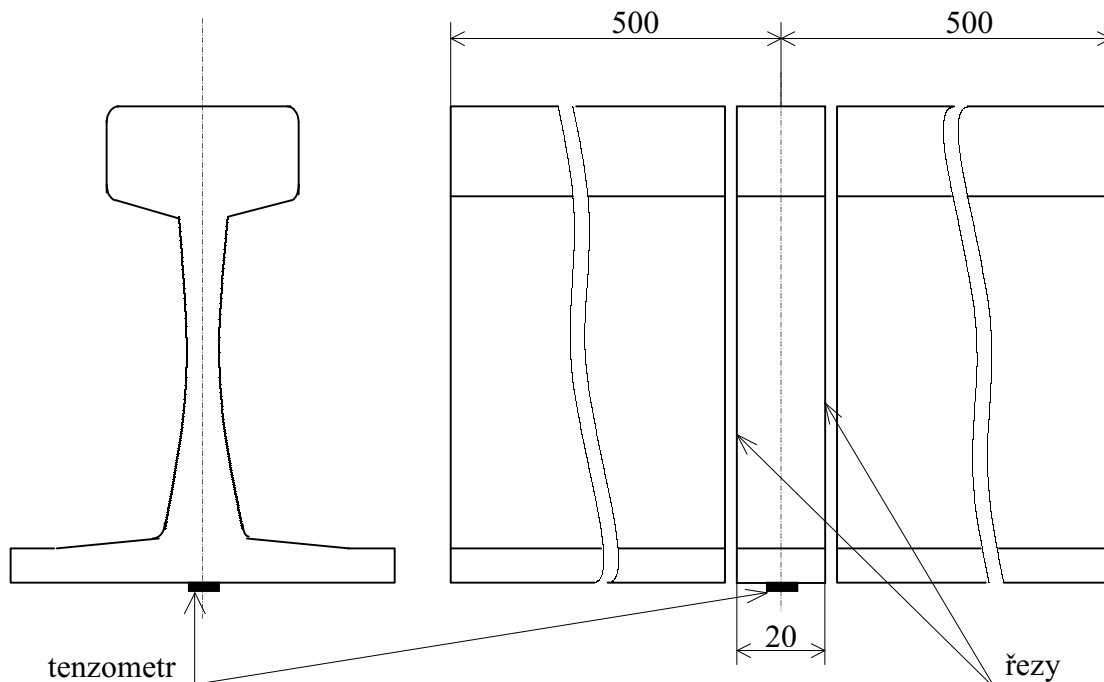
\* Prof. Ing. Pavel Macura, DrSc., Ing. Antonín Fiala : Katedra pružnosti a pevnosti VŠB-TU Ostrava; 17. listopadu 15; 708 33 Ostrava – Poruba; tel +420 596 993 598, fax +420 596 916 490; e-mail: pavel.macura@vsb.cz

chladníku, jednak v procesu následného rovnání na kotoučové rovnačce. Proto se provedla rozsáhlá měření průběhu teplot v různých místech kolejnice během ochlazování na chladníku a následná měření úrovně zbytkových napětí po zchladnutí. Tyto měřené kolejnice se pak vyrovnaly na rovnačce a změřila se úroveň zbytkových napětí po rovnání. Výsledky měření zbytkových napětí v kolejnicích po ochlazení a po rovnání jsou uvedeny na obr.1. Z obrázku je vidět, že po ochlazení a před rovnáním jsou zbytková napětí v kolejnicích poměrně nízká a vznik poměrně vysokých zbytkových napětí po výrobě kolejnic je vyvolán procesem jejich rovnání. Proto se další výzkum hledání cest ke snížení úrovně zbytkových napětí v kolejnicích zaměřil na optimalizaci procesu rovnání.



Obr.1 Zbytková napětí v kolejnici před a po rovnání

Předpokladem úspěšného výzkumu je vhodný a správný způsob měření, což v případě zbytkových napětí je dosud velký problém. Existuje celá řada metod měření zbytkových napětí, jejichž výsledky se však mnohdy značně liší, srovnání výsledků měření u kolejnic je uvedeno např. v příspěvku (Ficker et al, 1995), uveřejněném ve sborníku z 12. Danubia-Adria Symposia v Soproni. Výsledky měření na obr.1 byly získány pomocí ultrazvukové a odvrtávací metody, evropská norma CEN/TC256/WG4/9/2 (1996) však pro kolejnice předepisuje metodu rozřezávací, jejíž princip a postup je znázorněn na obr.2. Podle této normy nesmí uvolněné napětí po rozřezání na patě kolejnice přesáhnout hodnotu +250MPa. Tato přípustná hodnota zbytkového napětí je poměrně vysoká, je to určitý kompromis mezi výrobcí a uživateli kolejnic. Nevýhodou normované rozřezávací metody je skutečnost, že je to metoda destruktivní a že je poměrně zdlouhavá. Odvrtávací metoda je metodou semidestruktivní a je podstatně rychlejší, pro provozní výzkum je nejvhodnější nedestruktivní velmi rychlá ultrazvuková metoda.



Obr.2 Měření zbytkových napětí u kolejnic rozřezávací metodou

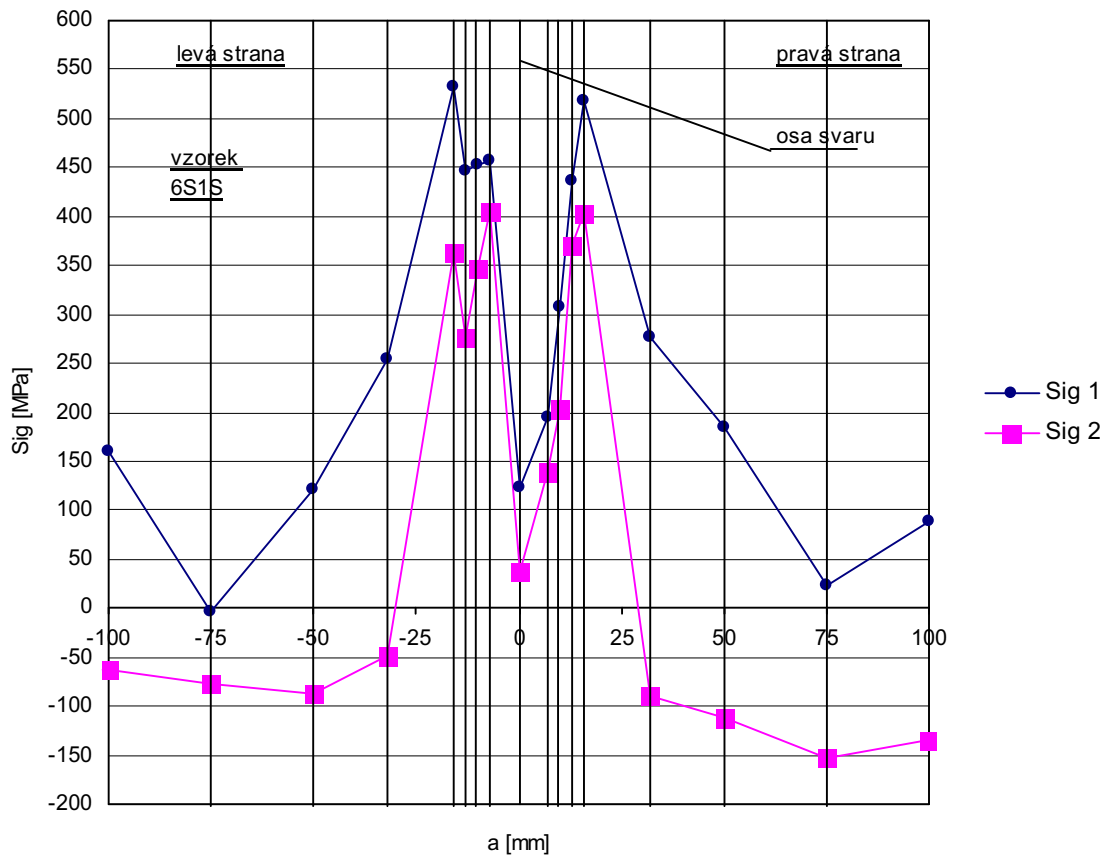
Úroveň zbytkových napětí v kolejnicích po rovnání lze výrazně ovlivnit nastavením přesazení kotoučů vertikálního stupně rovnačky. To je ovšem limitováno požadavky norem na tolerance rovinnosti kolejnic. Provedl se rozsáhlý výzkum a měření zbytkových napětí ultrazvukovou metodou pro různé kombinace nastavení kotoučů devítikotoučové rovnačky. Měřila se zbytková napětí jak na patě, tak i hlavě kolejnice. Při různých nastaveních kotoučů rovnačky se naměřily rozdílné hodnoty a poměr zbytkových napětí na patě a hlavě kolejnice, bylo možno nastavit i rovnačku tak, že zbytková napětí na patě kolejnice, tj. v místě, sledovaném evropskou normou, byla nulová. V tomto případě však zbytková napětí na hlavě kolejnice byla enormně vysoká a přesahovala  $+350\text{MPa}$ . Dle požadavků evropské normy by se zdálo, že takovéto kolejnice jsou ideální, dle našeho názoru se jako optimální jeví způsob rovnání, kdy zbytková napětí na patě a hlavě jsou přibližně stejně velká, pochopitelně nižší než přípustí evropská norma. Výsledkem výzkumu byl návrh technologického postupu rovnání, který zaručuje požadovanou rovinnost a rovnoměrné rozložení zbytkových napětí na hlavě a patě kolejnice, která jsou podstatně nižší než přípustná normovaná hodnota.

Dalším příkladem výzkumu za účelem snížení zbytkových napětí úpravou technologického postupu výroby byl výzkum a měření na železničních nápravách, kde se sledoval a optimalizoval technologický postup obrábění těchto náprav s ohledem na výslednou úroveň zbytkových napětí v nich. Přípustné hodnoty a postupy měření u náprav jsou rovněž dány evropskou normou prEN 31 261 (2000).

## 2.2. Tlakování

Tato technologická operace je zařazena v procesu výroby šroubovicově svařovaných trub. Ty se používají při stavbách plynovodů a u nich se velmi nepříznivě projevuje koroze pod

napětím. Napětí v plynovodech vzniká jednak od mechanického zatížení vnitřním přetlakem, jednak v něm zůstávají zbytková napětí po technologickém procesu výroby, hlavně v okolí šroubovicového svaru. Ke snížení úrovně těchto zbytkových napětí se po svařování zařazuje

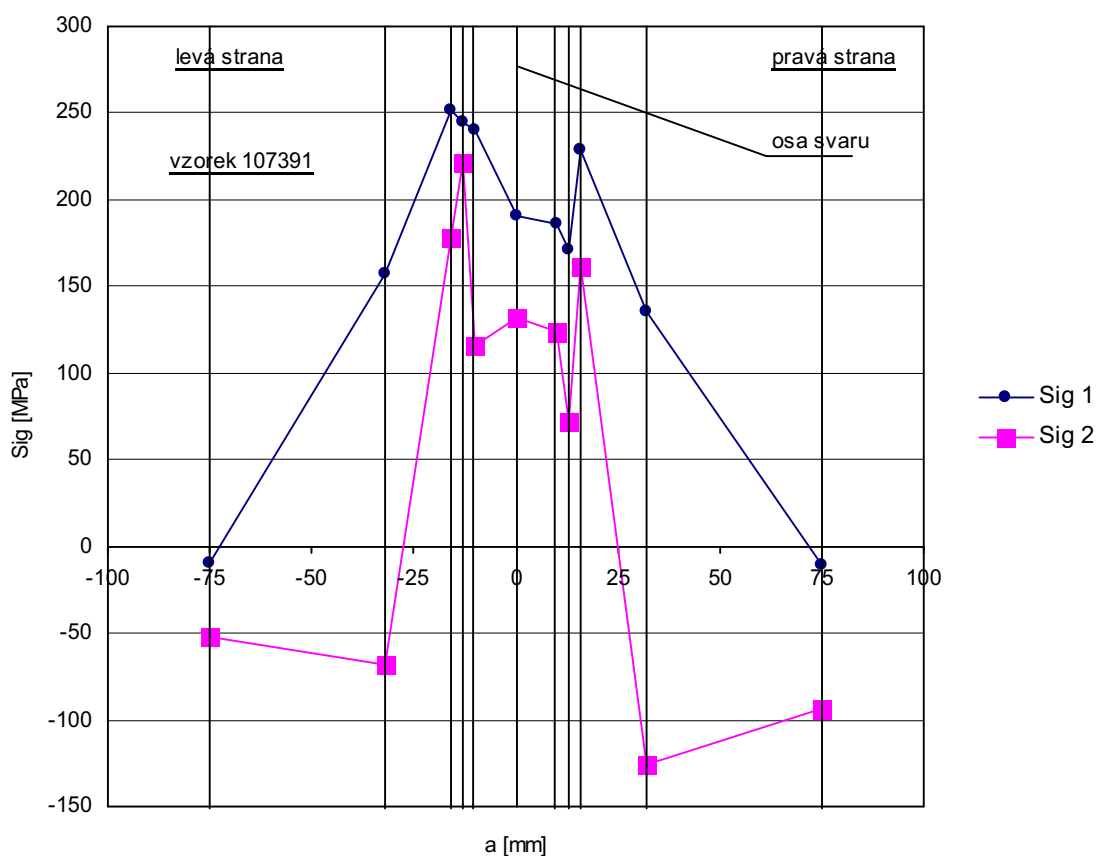


Obr.3 Průběhy zbytkových napětí v okolí svaru trubky před tlakováním

proces tlakování. Jeho princip spočívá v zatížení vnitřním přetlakem, který vyvolá ve svařené trubce napětí, blízké mezi kluzu materiálu trubky. Velikost snížení zbytkových napětí je mj. závislá na době výdrže natlakování. Proto se provedl výzkum a měření zbytkových napětí po různých délkách výdrže vnitřního přetlaku a byl stanoven optimální technologický proces tlakování tak, aby doba tlakování byla dostatečná ke snížení zbytkových napětí a aby nedocházelo k podstatnému poklesu výrobnosti tratě. Jako příklad jsou na obr.3 a 4 uvedeny naměřené průběhy zbytkových napětí v okolí šroubovicového svaru před a po tlakování, změřené odvrtačací metodou. Zbytková napětí před tlakováním jsou příliš vysoká, přesahují mez kluzu materiálu trubky, protože jejich vyhodnocení bylo provedeno za předpokladu platnosti Hookeova zákona v celé oblasti měřených deformací. Ve skutečnosti se v blízkém okolí svaru bude vyskytovat oblast plastických zbytkových deformací a zbytková napětí v ní budou blízká mezi kluzu materiálu trubky. Kromě snižování zbytkových napětí slouží tato technologická operace i ke kontrole vodotěsnosti svaru.

### 2.3. Vibrace

Provedl se výzkum a měření vlivu vibrací na snížení úrovně zbytkových napětí na zkušebních vzorcích s návaru, protože je snahou používat tento technologický postup hlavně u svařenců a navařovaných součástí. Výzkum se provedl na třech zkušebních vzorcích s provedenými návaru, které v blízkém okolí vyvolaly vysoká zbytková napětí až na mezi kluzu. Jeden vzorek byl vibrován, druhý žihán a třetí byl proměřen jako srovnávací bez vlivu vibrací a žihání. Na každém vzorku se provedla měření zbytkových napětí odvrátací metodou s postupným vrtáním otvoru ve dvou místech. První měřené místo bylo těsně vedle návaru a druhé ve vzdálenosti 55 mm od středu první růžice ve směru kolmém na podélnou osu návaru. Srovnáním výsledků měření zbytkových napětí u vibrovaného a srovnávacího vzorku se ukázalo, že operace vibrování nepřinesla očekávaný výsledek snížení zbytkových napětí a že zbytková napětí u obou vzorků byla prakticky stejná. Pro statistické hodnocení by však bylo nutno provést další měření.

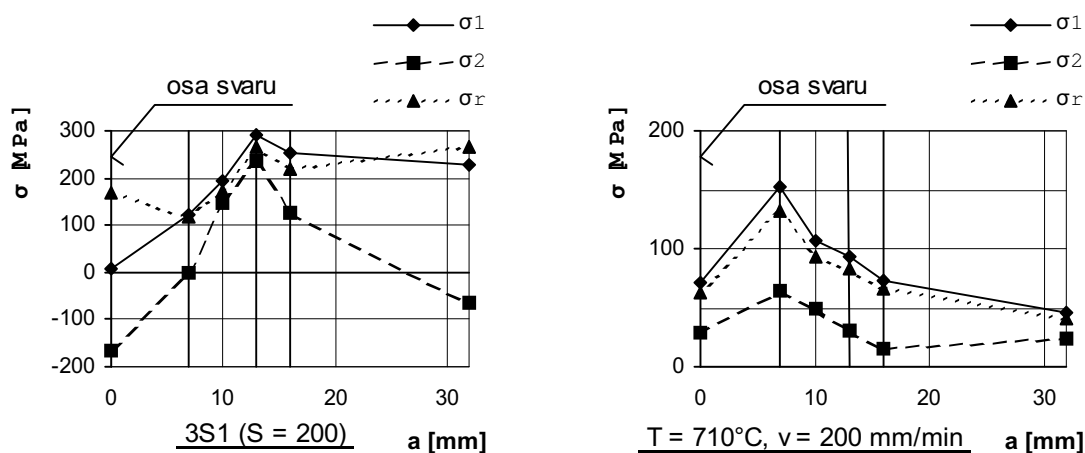


Obr.4 Průběhy zbytkových napětí v okolí svaru trubky po tlakování

### 2.4. Žihání

Proces žihání je účinná, ale bohužel nákladná metoda snížení úrovně zbytkových napětí. Jeho vliv se např. zkoumal v souvislosti s výzkumem vibrací, jak je uvedeno výše. Procesem žihání došlo k výraznému snížení zbytkových napětí v místě návaru, ve vzdálenějším měřeném místě přešla poměrně vysoká tlaková zbytková napětí na velmi malá napětí tahová.

Rovněž se zkoumal vliv žíhání na velikost zbytkových napětí u šroubovicově svařovaných trub. Výsledky měření jsou uvedeny na obr.5. Žíhání se zde provedlo pouze pro výzkumné účely, při běžné výrobě se neprovádí, protože by bylo velmi nákladné.



Obr.5 Zbytková napětí v okolí svaru trubky před a po žíhání

### 3. Závěr

V příspěvku byly stručně uvedeny některé výsledky výzkumů, provedených za účelem hledání cest ke snížení úrovně zbytkových napětí v součástech po jejich technologickém procesu výroby. Ideální by byla možnost ovlivnit proces výroby tak, aby výrobky splňovaly případné přípustné hodnoty zbytkových napětí bez zařazení dalších technologických operací. To však bohužel není vždy možné a je třeba hledat další možnosti a cesty ke snižování vznikajících zbytkových napětí po výrobě. Některé z nich jako tlakování, vibrace a žíhání byly předmětem našeho výzkumu a měření a část výsledků byla zde publikována. Ne vždy bylo dosaženo očekávaných a potřebných výsledků.

### 4. Poděkování

Tato práce vznikla na základě řešení grantového projektu GAČR č. 101/01/0089

### 5. Literatura

Ficker, E. at al (1995) *Round robin test on residual stress measurements – philosophy and results*, in: Proc. 12<sup>th</sup> Danubia-Adria Symposium, Sopron, pp.5-6

CEN/TC 256/ WG 4/9/2 (1996) *Method for determination of rail foot surface longitudinal residual stresses*, pp.13-17

prEN 13261. (2000) *Railway applications – Wheel – sets and bogies – Wheels – Product requirement*, pp.17.