

EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY VÝVOJE TECHNOLOGIE OPRAVY NÁTRUBKU PRIMÁRNÍHO POTRUBÍ

EXPERIMENTAL RESULTS OF REPAIR DEVELOPMENT OF PRIMARY CIRCUIT NOZZLE

Tomáš Soukup a Milan Vnouček

ŠKODA JS a.s.

Abstrakt

Při svařování a navařování oceli primárního potrubí značky 10GN2MFA je vyžadováno dodržení požadavků na tepelný režim a tepelné zpracování po svaření, které při opravném svařování hlavních komponent jaderných elektráren (JE) není v některých případech možno zajistit. Opravy je zpravidla nutné řešit zvládnutím a atestováním technologie svařování metodou popouštěcí housenky. Tato technologie je v projektu VVER známa, ale není součástí technické normativní báze pro projekt. Provedlo se proto důkladné studium chování antikoročních i nízkouhlíkových návarů a ovlivněné oblasti oceli 10GN2MFA. Zkoušky byly zaměřené na moderní způsob měření a analyzování tvrdosti, ověření kritické teploty křehkosti a ověření pevnosti svarového spoje nátrubku s primárním potrubím a antikoročního návaru uvnitř nátrubku.

Abstract

It is required to comply with the heat treatment during and post welding, which cannot be performed on site due to many difficulties. It is necessary to perform the method of temper bead welding techniques. This technology is known in the project of VVER, but not standardised. Therefore deep study of stainless steel and low carbon steel cladding and HAZ of 10GN2MFA steel was performed. Testing was based on modern measurement of hardness and verification of critical temperature of impact toughness of the primary piping nozzle and cladding.

Experimentální výsledky vývoje technologie opravy nátrubku primárního potrubí

Celé primární potrubí je vyrobeno z kovaných potrubních dílů z nízkolegované oceli značky 10GN2MFA.

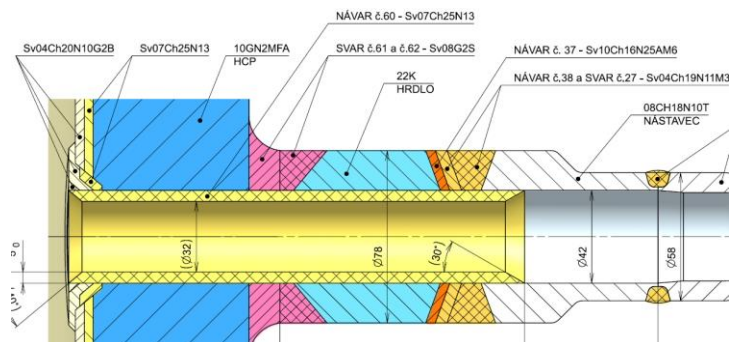
Tab. 1: Chemické složení oceli 10GN2MFA

10GN2MFA	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Hm. %	0,08 0,12	0,70 0,90	0,17 0,37	Max. 0,02	Max. 0,02	Max. 0,30	1,70 2,00	Max. 0,30	0,40 0,60	0,01 0,04

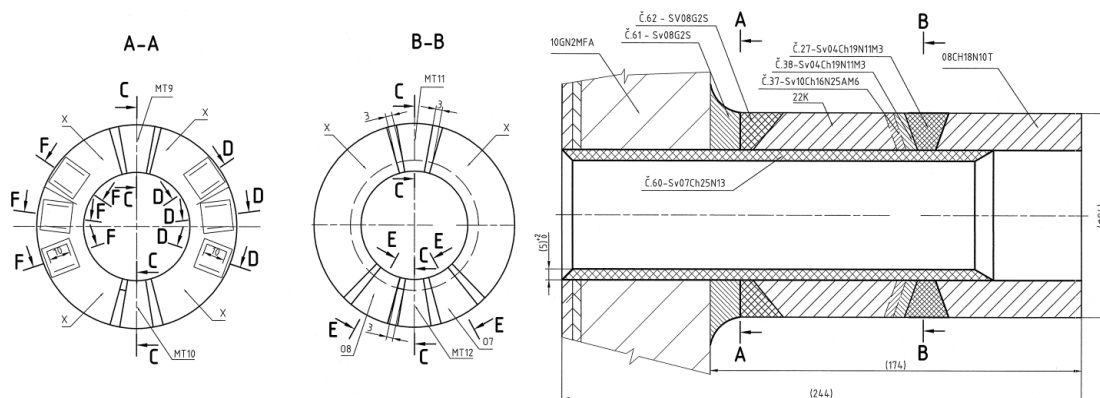
Návrh opravy je dostatečně zřejmý z obr. 1. Původní hrdlo se odřízne. Nové hrdlo s dílensky vyrobeným přechodovým heterogenním svarem se přivaří a opatří uvnitř antikoročním austenitickým návarem prováděným automatem.

Jako zkušební vzorek byl použit zbytkový prstenec původního HCP, na kterém byla simulována oprava. Na vzorcích byl proveden rozřez pro získání metalografických vzorků a polotovarů pro výrobu těles mechanických zkoušek dle zadávací dokumentace (viz obr. 2 a obr. 3).

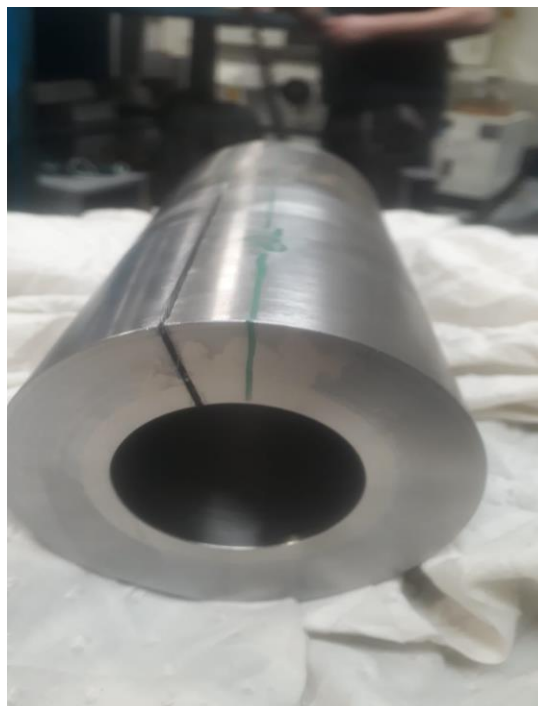
Na získaných metalografických vzorcích byla provedena dokumentace makro a zkoušky tvrdostí dle zadání. Takto získané hodnoty reprezentují pouze linie požadované zadávací dokumentací reprezentující přechody jednotlivých druhů materiálu.



Obr. 1: Řez novým hrdlem



Obr. 2: Ukázka rozřezu v zadávací dokumentaci

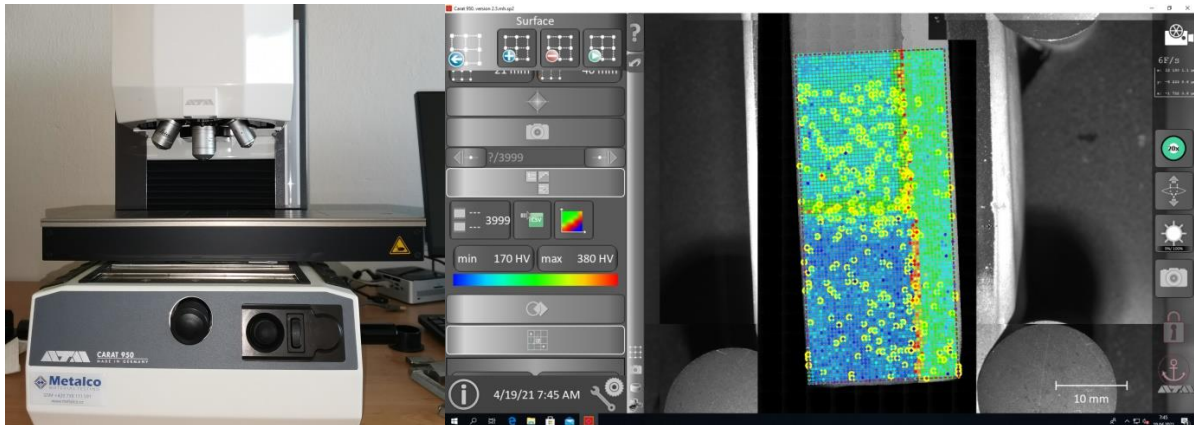


Obr. 3: Dodaný stav svařence + stav po úpravě před rozřezem

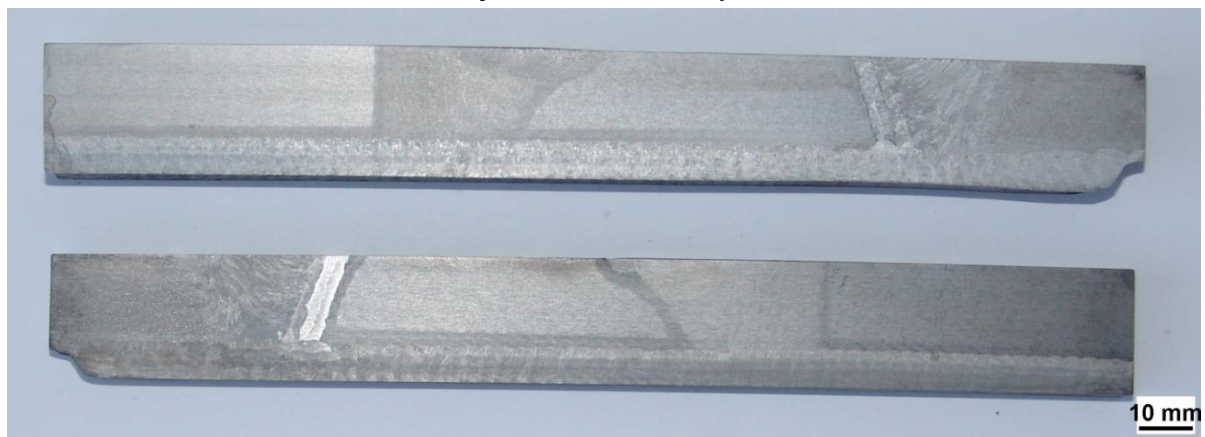
Pro analýzu tvrdosti byl použit stejný vzorek jako pro makro. Vzorek byl upraven tak, aby měl rovnoběžné strany. Díky této úpravě bylo možno provést na jedné straně metalografické pozorování a na druhé měření tvrdosti.

Pro měření jdoucí nad normativní rámec byl použit automatický tvrdoměr firmy ATM CARAT 950 umožňující měření dle metody Vickers v rozmezí zatížení 1 až 100 N. Toto zaří-

zení umožňuje vytváření souřadnicových sítí a automatické měření úhlopříček vtisku s následným zpracováním výsledných tvrdostí. Zařízení umožňuje i ruční korekci měření úhlopříček vtisku při jejich špatném vyhodnocení.

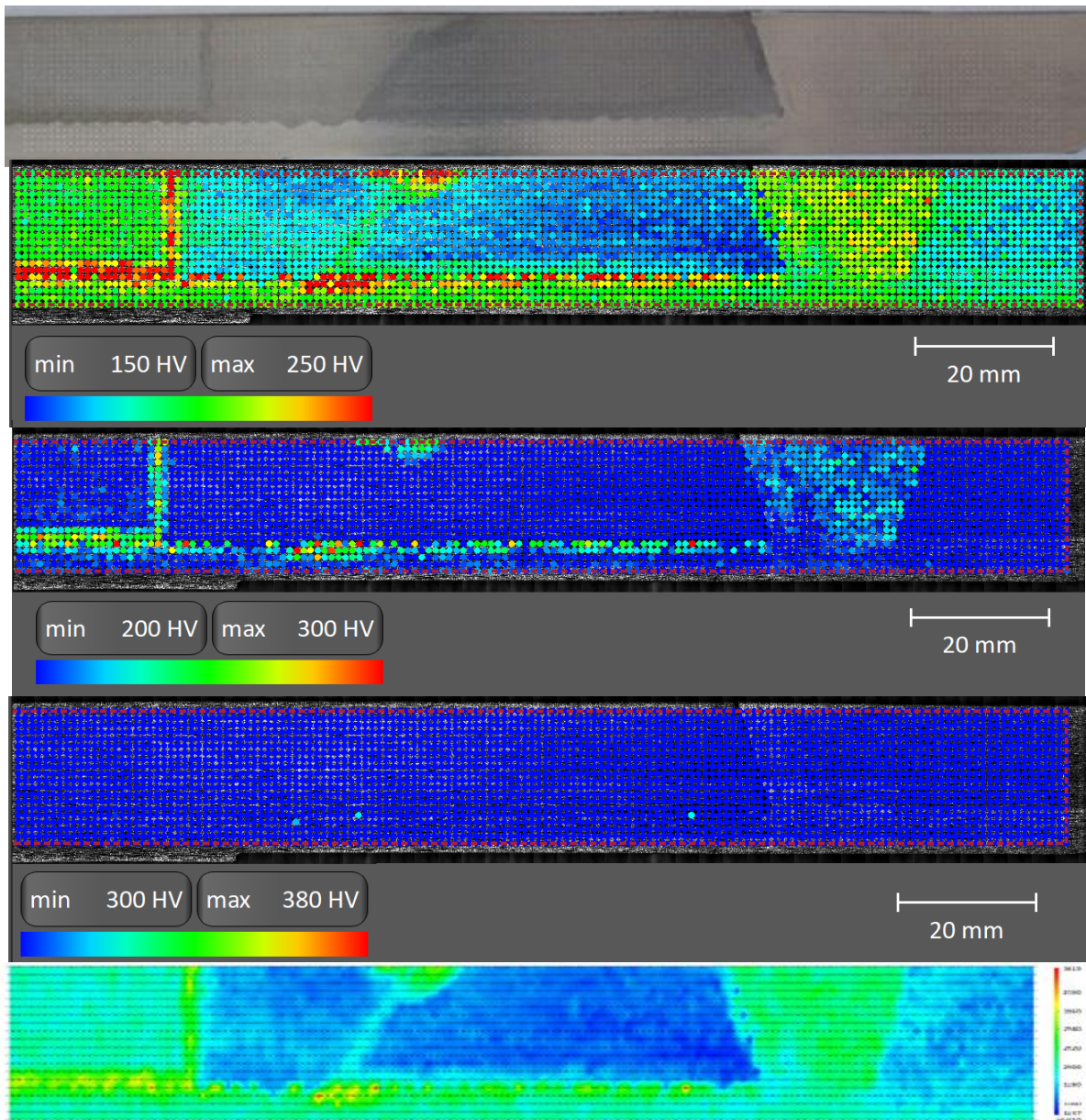


Obr. 4: Automatický tvrdoměr fy. ATM CARAT 950 s vyhodnocovacím softwarem – chybová měření jsou označena žlutým kolečkem



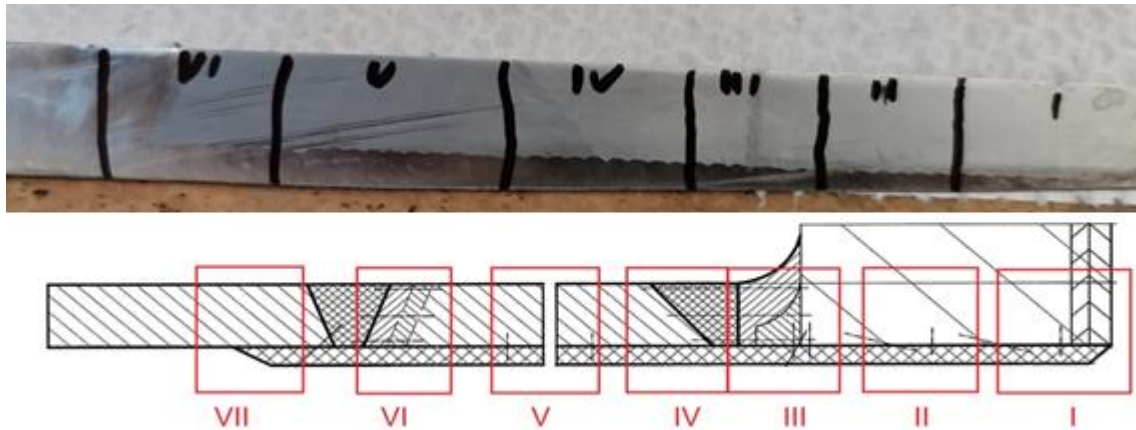
Obr. 5: Stav po naleptání makrostruktury

Jelikož se jedná o rozměrově velkou plochu pro přípravu metalografického výbrusu pro měření mikrotvrdomosti, bylo přistoupeno k měření HV10, která nevyžaduje vyleštěný povrch (viz obr. 5). Soulep na obr. 6 dokládá shodu stavu materiálu vzorku (makro) s měřením (HV10). Měření HV 10 prováděná v rastru po 1 mm je sice hrubé, ale další informace lze získat změnou rozsahu barevné škály tvrdosti. Touto změnou vyniknou detaily tvrdosti u jednotlivých materiálů. Z těchto jednotlivých škál tvrdosti lze jasně stanovit, že průměrná tvrdost vzorku není větší než 200 HV10. Rozsah 200 až 300 HV10 reprezentuje převážně oblast heterogenního spoje, nerezového návaru, návaru HCP a žíhací housenky. Hodnotu tvrdosti 300 HV10 přesahují pouze 3 měření. Dle normativu nesmí překročit hodnotu tvrdosti 380 HV10 a v žádném měřeném bodě tohoto stavu nebylo dosaženo. Jednotlivé strukturální fáze jsou pro vtisky HV10 malé a výsledná tvrdost je silně zprůměrována. Rozptyl hodnot vtisků v jednotlivých oblastech se pohybuje v jednotkách procent.



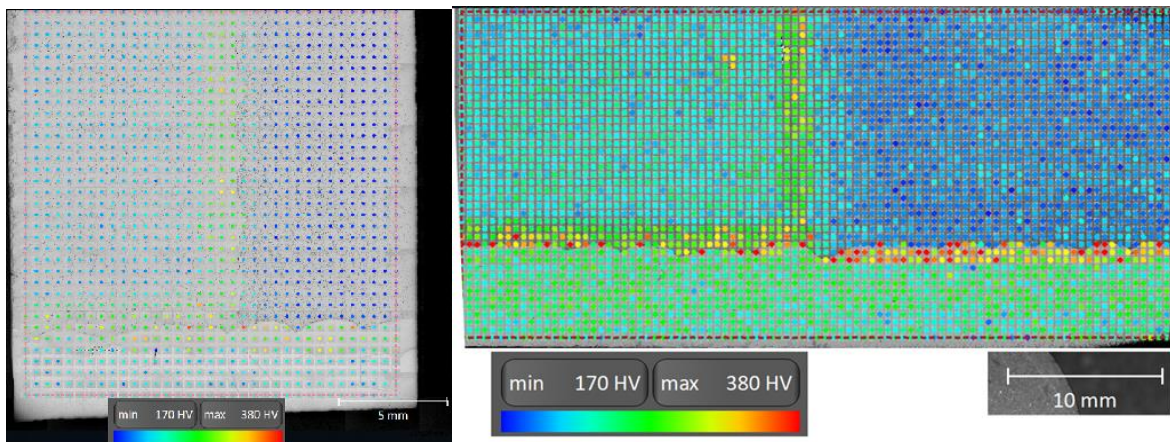
Obr. 6: Měření tvrdosti svarového spoje (HV10 160x20 po 1 mm) celkový rozsah 150 až 380 HV10 v rámci jednotlivých rozsahů + 2D mapa tvrdostí

Pro detailnější analýzu byla použita místo HV10 měření HV1 a HV0,1, která byla provedena na rozměrově menších vzorcích reprezentujících zájmové lokality vzorku. Lokality byly označeny čísly I – VII a reprezentovaly přechody mezi jednotlivými materiály svařence (viz obr. 7). Na vzorcích, kde to umožňovala velikost, nebo byl materiál pro dostatečný počet metalografických výbrusů, bylo provedeno víc druhů měření tak, aby byla daná oblast pokryta měřením HV10 až HV0,1. Zvolený postup umožnil minimalizaci rozestupu vtisků daného normou, zvýraznění strukturních regionů s vyšší tvrdostí a detailnější porovnání. Tento stav ovšem znamená, že hodnoty měření HV1 a HV0,1 budou posunuty k vyšším číslům a rozptýl hodnot se zvýší.



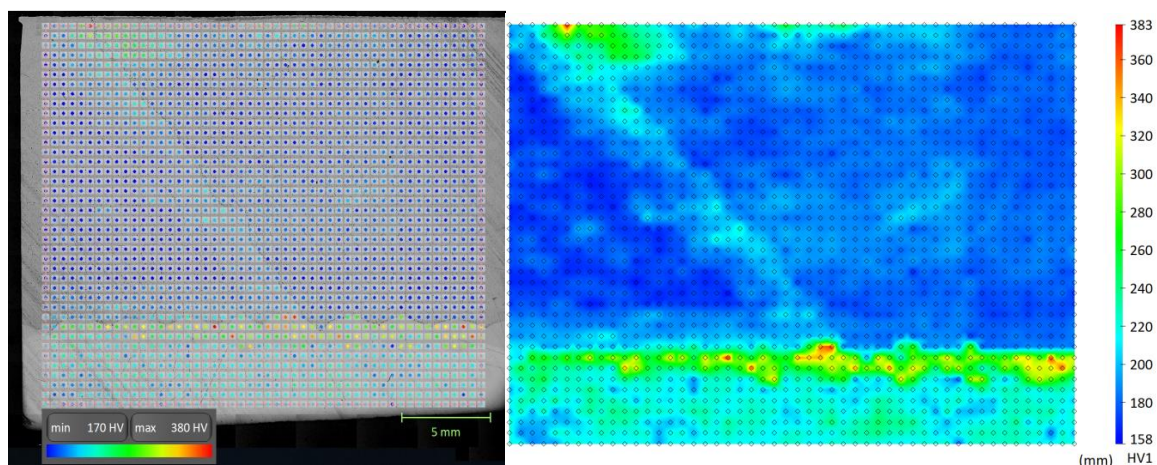
Obr. 7: Rozřez svarového spoje I – VII pro přípravu metalografických výbrusů s vyznačenými liniemi normativního měření HV10

Mezi nejzajímavější zjištěné výsledky lze uvést měření na segmentu III, IV a VI. Použitý rastr byl volen po 0,5 mm. Byly zaznamenány body přesahující hodnotu 380 HV_{0,1} – a to převážně v oblasti stavení první housenky návaru – zde netvoří výrazné ostrůvky nebo linie, ale jsou umístěny osamoceně. Okolí těchto bodů má vyšší tvrdost, než je průměr zjištěný na vzorku. Přechod mezi těmito úrovněmi tvrdosti je ostrý. Body však jasně ukazují rozšíření oblasti zvýšené tvrdosti pod materiálem HCP. Oblast zvýšené tvrdosti pod materiálem 22K je oproti oblasti pod materiálem 10GN2MFA podstatně užší s častějším výskytem vyšších hodnot. Mezi další dobře patrné jevy zachycené měřením tvrdosti jsou housenky 1/2 V svaru č. 62 a přechod mezi svary č. 61 a č. 62. Tento jev vynikne až při zpracování hodnot do 2D mapy, při analýze samotných vtisků není tak patrný.

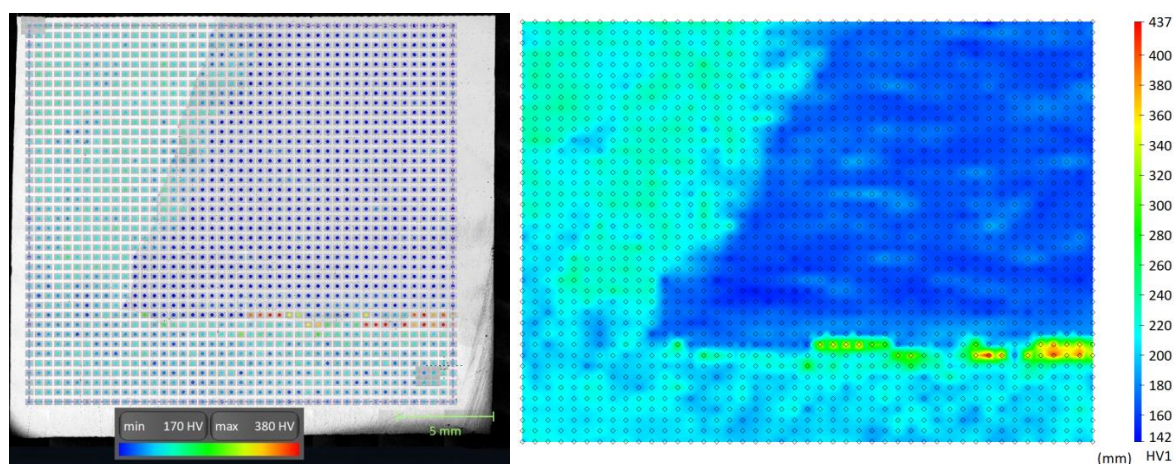


Obr. 8: Měření HV1 (vlevo) a HV_{0,1} (vpravo) na vzorku III

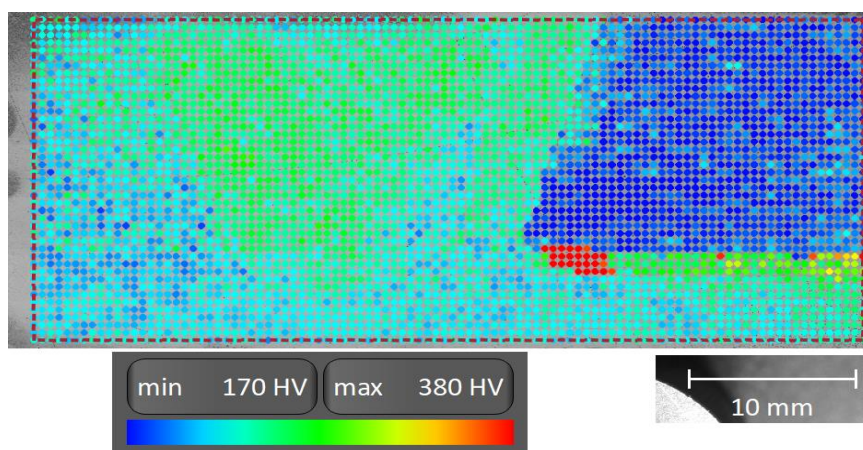
Mezi nejrozdílnější výsledky měřené na několika vzorcích patřila oblast heterogenního spoje. I zde bylo měření uskutečněno na větším počtu vzorků. Díky této skutečnosti se projevily rozdíly mezi jednotlivými vzorky. Tento rozdíl je dán interakcí chemicky různorodých materiálů heterogenního spoje. Díky namíchání různých komponent svaru u jednoho vzorku vykazuje jedna z housenek podstatně vyšší tvrdost než housenky okolní. Získané průměrné tvrdosti jsou až na tuto odlišnost velmi podobné s měřeními na jiných vzorcích. Při analýze tvrdostí byl zářející ještě jeden fakt, a to nekorespondence změny tvrdosti s linií stavení. Na ostatních vzorcích obsahující linii stavení korespondovala hodnota tvrdosti (viz obr. 10) se změnou fázového a chemického složení. Tento stav je patrný na všech vzorcích s heterogenní linií svaru (viz obr. 6, obr. 10 a obr. 11) a při všech zátěžích (HV10, HV1 a HV_{0,1}) jako „nos“ ve střední podnávarové oblasti heterogenního svaru na materiálu 22K.



Obr. 9: Měření HV1 na vzorku III – IV s patrnou linií stavení a přechodu mezi svary č. 61 a č. 62 + 2D mapa



Obr. 10: Měření HV1 na vzorku VI s patrnou linií heterogenního svaru + 2D mapa tvrdosti



Obr. 11: Měření HV0,1 na vzorku VI s patrnou linií heterogenního svaru a odlišnou housenkou první linie návaru

Závěr

Měření tvrdosti na ploše vzorku poskytuje podrobnější náhled na stav základního materiálu, TOO a svarového kovu. Zpracování několika set až tisíc měření je však časově náročnou operací vyžadující co nejnižší míru chybovosti při měření jednotlivých vtisků. Získané informace jsou závislé na zvoleném rastru a velikosti zatížení s ohledem na omezení dané normou ČSN EN ISO 6507-1.