



## مته لوله‌های مشابه غیر اتصالات برای دوار اصطکاکی جوشکاری پارامترهای بهینه‌سازی

### اکتشافی

آنایسیووا 2، النا پریماک 2، 10 آرتم آتاماشکین 10 الکساندر کیریلنکو 1

2023 مه 1: آنلاین انتشار 2023 / مارس 31: پذیرش 2023 / ژانویه 16: دریافت

© Springer Nature 2023 بخشی از Springer-Verlag London Ltd، نویسندگان، تحت مجوز انحصاری

### خلاصه

(RFW) تولید شده با استفاده از جوشکاری اصطکاکی دوار AISI 4340 و AISI 1330 در این کار، اتصالات جوشی غیرمشابه از فولادهای کربنی کم آلیاژ و تجزیه لوله بدنه AISI - 1330 و ابزار اتصال AISI 4340 - اند شده گرفته نظر در اکتشافی مته های لوله ساخت برای فولادها این .شود می بررسی (EBSD) بررسی ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رویشی با پراش الکترونی معکوس (RSM) تحلیل آماری بر اساس روش سطح پاسخ و آزمایش های مکانیکی برای بررسی اتصالات جوش اصطکاکی انجام شد .معادلات برای پیش بینی استحکام کششی شکاف، استحکام کششی نهایی، و ازدیاد فشار گرمایش، فشار آهنگری، سرعت چرخش در طول گرمایش، طول سوزاندن (به دست آمده اند .نتایج نشان داد که RFW طول نسبی از پارامترهای فرآیند سرعت چرخش در حین گرمایش و فشارگرمایش تا حد زیادی بر کیفیت اتصال جوشکاری شده تأثیر می گذارد .پارامترهایی ایجاد شده است که به دست آوردن MPa، فشار آهنگری 120-140، 80-60 MPa را تضمین می کند :فشار گرمایش AISI 1330 خواص مکانیکی اتصال جوش داده شده در سطح فلز پایه سرعت چرخش در حین گرمایش 400 دور در دقیقه، و طول سوختن 4 میلی متر .نشان داده شده است که استحکام اتصال به توسعه فرآیندهای تبلور مجدد دارد بستگی ترمومکانیکی تأثیر تحت ناحیه در کرنش شدن سخت و فولاد مشترک سطح در متقابل دینامیکی

تأثیر تحت منطقه . نهایی کششی استحکام . شکاف کششی استحکام . پاسخ سطح روش . مشابه غیر اتصال . دورانی اصطکاکی جوشکاری ها کلیدواژه

مکانیکی حرارت

### معرفی 1.

با و ترین صرفه به مقرون از یکی (RFW) دوار جوشکاری اصطکاکی جوش بر نوع این .است مشابه غیر آلیاژهای و فلزات اتصال برای کارایی بالا چرخش دارای محور انتهایی سطوح اصطکاک هنگام در حرارت تولید اساس .شود می استفاده استوانه ای قطعات جوشکاری برای و است مشترک

در چندین مرحله متوالی پیش می رود .در RFW فرآیند [ 1 - 3 ] .

مرحله اول، دو قطعه کار جوش داده می شوند، در حالی که یکی از آنها می چرخد و دومی ثابت می ماند .مرحله دوم مرحله گرمایش است .در اینجا، دو سطح جفت گیری به دلیل اصطکاک گرم می شوند .درجه حرارت در محل اتصال به حداکثر مقادیر خود می رسد .فرآیند تشکیل یک اتصال جوش داده شده با مرحله "جعل" به پایان می رسد :یک نیروی فشاری برای مدتی به قسمت های گرم شده، اما در حال حاضر بی حرکت اعمال می شود .پس از آن، قسمتی که قرار است جوش داده شود از گیره ها خارج شده و در شرایط طبیعی خنک می شود . 3، 4.

آنایسیووا، النا پریماک، آرتم آتاماشکین و الکساندر کیریلنکو به طور

مساوی در این کار مشارکت داشتند

\* آنایسیووا

stepan4uckova@yandex.ru

النا پریماک

elena-pijmak@yandex.ru

آرتم آتاماشکین

atamashkin2017@yandex.ru

الکساندر کیریلنکو

integral138@mail.ru

شناخته شده جوشکاری های روش سایر به نسبت جوشکاری اصطکاکی مزایای زیادی دارد .مزایای اصلی شامل عدم وجود منطقه ذوب، منطقه گرمایش پاریک، کیفیت بالای اتصال جوش داده شده، حداقل زمان فرآیند، مصرف کم انرژی، عدم وجود منافذ و آخال ها، و سازگاری با محیط زیست است . 5، 6. یک مزیت مهم امکان جوشکاری مواد غیر مشابه در ترکیبات مختلف است . 7. به همین دلیل، جوشکاری اصطکاکی به طور گسترده ای در صنعت از جمله تولید لوله های حفاری برای اکتشافات زمین شناسی استفاده می شود . 8، 9. لوله های مته تولید می شوند

1 دانشگاه ایالتی اورنبورگ، اورنبورگ 460018، روسیه

2 Orenburg460026، ZBO Drill Industries، روسیه

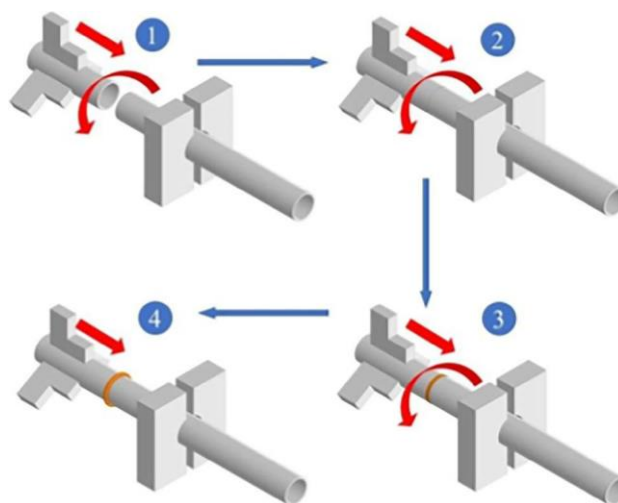
ترکیب فولادها شیمیایی 4میز					
منقر	سی	Cr	نی	مس	مو
0.36	0.21	0.08	0.07	0.13	-
0.49	0.25	0.005	0.008	0.72	1.24

## ها روش و مواد

مترو میلی 73 خارجی قطر با لوله صفحات روی بر جوشکاری اصطکاکی AISI ضخامت دیواره 12 میلی متر از فولادهای آلایژی کربن متوسط ایزار برای اتصالات AISI 4340 فولاد شد انجام AISI 4340 و 1330 برای بدنه لوله مته هر دو قسمتی که AISI 1330 — طراحی شده است قرار است جوش داده شوند، قبلاً خاموش و تمپر شده بودند. ترکیب شیمیایی 2. و 1 است شده ارائه جداول در این فولادها مکانیکی خواص و

جوش دستگاه روی بر شده داده جوش تولید اتصالات انجام شد. مراحل اصلی "Thompson-60" اصطکاکی خودکار فرآیند جوشکاری در شکل 1 نشان داده شده است. 1. از نظر گرافیکی، فرآیند جوشکاری اصطکاکی در شکل نشان داده شده است. 2.

اتصالات خواص بر RFW اصلی پارامترهای تأثیر برای ارزیابی جوش داده شده و به دست آوردن وابستگی های رگرسیون، برنامه ریزی یک Box-Behnken آزمایش چهار عاملی با استفاده از طرح بهینه سه بلوک؛ مگاپاسکال گرمایش □ فشار. شد انجام گرمایش: عامل چهار برای دوم مرتبه  $n$ ، فشار آهنگری □ آهنگری مگاپاسکال؛ سرعت چرخش در حین گرم کردن تعداد کل آزمایش ها □  $24+3$ ،  $l, mm$  دور در دقیقه و طول سوختن  $(\pm 1)$  است شده کدگذاری عامل سطوح در ها تعداد آزمایش 24 آن در که  $=xi$  (0 = است صفر فاکتور سطوح در آزمایشات تعداد 3 و 0)  $=xi$



- کار نصب 1 - دورانی اصطکاکی مراحل جوشکاری 1-ع

قطعات در یک گیره ثابت؛ - 2 پوشش سطوح تماس - 3

گرم کردن نواحی تماس در حین اصطکاک؛ - 4 تأثیر نیروی آهنگری

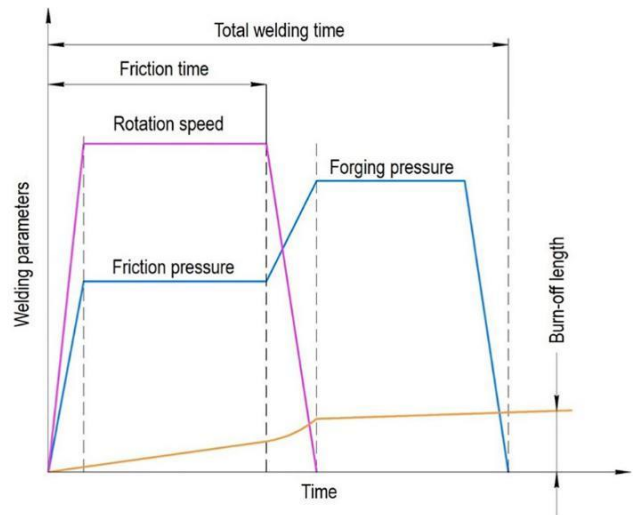
این کربن و آلایژ کم فولادهای بین شده ساخته پین و جعبه اتصالات از طریق و خواص اتصالات جوش داده شده RFW امر مستلزم توجه دقیق به فرآیند است. جستجو و تجزیه و تحلیل آثار با هدف مطالعه دقیق ریزساختار و خواص اتصالات جوشی اصطکاکی از فولادهای آلایژی کربنی متوسط، اطلاعات محدودی را در این زمینه نشان داد. انتشارات جداگانه ای وجود دارد که نتایج مطالعات ریزساختار و خواص اتصالات جوشی لوله های مته ساخته شده از پس از خاموش CrMo4 در حالت نرمال شده با فولاد N80 42 فولادهای AISI 8630 فولاد [11]، [ ]، کردن و تمپر کردن ارائه می دهد. 10 و گرم نورد شرایط در B درجه A 106 ASTM فولادهای جوشی اتصالات 13 با این حال، [ ]، [ ] پس از نرمال شدن و پس از بهبود 4140 12 پارامترهای فرآیند جوشکاری برای به دست آوردن یک اتصال جوشی با کیفیت بالا، یعنی فشار گرمایش (اصطکاک (اهمیت تعیین کننده ای دارند. □، سرعت،  $MPa$ )، فشار آهنگری (بارش) (□ آهنگری،  $MPa$ )، گرمایش  $(l, mm)$  و طول سوختن 1 (دور/دقیقه  $n$ ) چرخش در حین گرم کردن برای یافتن پارامترهای بهینه ای که حداکثر استحکام اتصال را فراهم می 3. ]، کند، اغلب از روش های برنامه ریزی ریاضی آزمایش ها برای ایجاد رابطه دقیق بین داده های ورودی و خروجی استفاده می شود. بنابراین، به عنوان مثال، با استفاده از روش سطح پاسخ، پارامترهای فرآیند جوشکاری AISI 1035 اصطکاکی میله های ساخته شده از فولاد کربن [14] و 16NiCr6 [15] AISI 304 و C45 مشابه فولادهای غیر اتصالات و فولاد نرم [18] AA1100 آلایژ آلومینیوم، [17]، [16]، AISI 1040 برای تعیین T4-2017 و آلایژ آلومینیوم [19] AISI 1045 و فولاد پارامترهای بهینه، مقایسه تغییر در پارامترها با تغییرات در ریزساختار که بر خواص تأثیر می گذارد، مهم است. این رویکرد، همراه با مدل سازی فرآیند با روش اجزای محدود برای آنالیز گرمای ورودی، در تجزیه و تحلیل جوشکاری اتصالات [20] شد استفاده مس و کامپوزیت آلومینیوم اغتشاشی اصطکاکی [21]، آلومینیوم آلایژ

جوشکاری پارامترهای سازی بهینه مطالعه این هدف از اکتشافی مته های لوله در غیرمشابه اتصالات اصطکاکی دورانی AISI 1330 و AISI 4340 فولادهای از شده ساخته زمین شناسی تضمین می را بالا اتصال استحکام ریزساختاری تغییرات کدام اینکه تعیین کند.

جوشکاری از قبل حالت در فولادها مکانیکی خواص 2 جدول			
(%) ازدیاد طول	کشش نهایی	قدرت تسلیم	مواد
(MPa) قدرت			
(MPa)			
14.3-14.9	905-878	792-774	AISI 1330
10.5-11	998-984	885-870	AISI 4340



Steel AISI 1330



### RFW فرآیند گرافیکی نمایش 2 شکل

تعداد تکرارها در آزمایش 3 بود. برای این آزمایش، دامنه تغییرات پارامترهای اصلی زیر انتخاب شد: ☐ گرمایش از 30 تا 80 مگاپاسکال، ☐ آهنگری

**RFW** توسط شده داده جوش اتصالات عکس نمونه 3 شکل

با Science Scios 2 LoVac رویشی میکروسکوپ الکترونی  
از استفاده با Oxford ابزار EBSD Symmetry ضمیمه آشکار ساز

**ضبط زمان در میکروسکوپ پارامترهای AZtec.** افزاری بسته‌نرم  
ولتاژشتاب دهنده 20 کیلو ولت .جریان پروب، 410 نانو آمپر  
شبکه جهت تعیین در خطا .است میکرومتر 0.1 مرحله‌اسکن  
(درجه)  $\pm 0.6$  متوسط طور به) درجه  $1 \pm$  از کریستالی بپ  
نیست.سیستم مختصات ) □□□□ ، □□□□□□□□□□ (به عنوان آزمایشگاه  
با که است نمونه افقی محور با موازی محور □□□□ را پذیرفته‌شد  
تقارن محور ترتیب به) جوشکاری حین در شکل جهت‌تغییر  
عمودی محور با موازی محور □□ .است منطبق (ای محصولات‌اوله  
می هدایت تصویر صفحه به معمول طور به محور □□ و نمونه‌است  
مرزهای .است شده انجام آن از بررسی که هواپیمایی یعنی.شود  
های نقشه روی بر محلی های حجم بین (LABs) زاویه‌پایین  
بالا زاویه مرزهای و درجه 15 تا 5 از گیری جهت گیری در جهت  
اند شده ساخته درجه که 15 نادرست گیری جهت در (HABs)

از 4 تا 10 | از 400 تا 1000 دور در دقیقه *m*، از 90 تا 200 مگاپاسکال  
میلی.متر. عوامل، سطوح و فواصل تغییرات در جدول نشان داده شده  
3. است

شدند انتخاب سازی بهینه پارامترهای عنوان به زیر ویژگی های  
روی پر شده داده جوش اتصال در پریدیگی کششی استحکام 1 □  
□ (MPa)، نمونه های با □ □ □ □ متمرکز کننده ام  
کششی استحکام 2

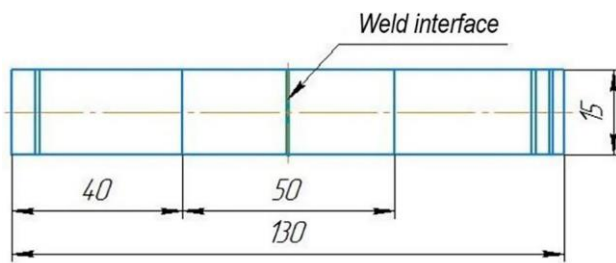
و 3 □ (MPa)، نهایی در اتصال جوش داده شده است. (%) شده داده جوش اتصال از بیاد طول حالت با مطابق لوله های لوله جوشی اتصالات از نمونه هایی (1). شد ساخته قطعه 27 تعداد در ریزی برنامه های ماتریس پیکربندی دو مکانیکی کششی های آزمایش برای هایی نمونه (3). (اند شده ساخته (دولتی استاندارد) GOST 6996-66 مطابق با روی بر شده داده جوش اتصالات کشش تست (2). 4) شکل شد انجام UTS 111.2-100 کشش دستگاه تست

محلول با چ از پس عرضی مقاطع ریز روی بر مطالعه ریزساختار  
نوری میکروسکوپ از استفاده با اتانول در نیتریک اسید درصد 4  
پراش) EBSD تحلیل و تجزیه شد. انجام Olympus DSX1000  
تأثیر تحت ناحیه مختلف های بخش در (الکترون پراکندگی برگشتی  
از استفاده با شده داده جوش اتصال یک (TMAZ) ترموم

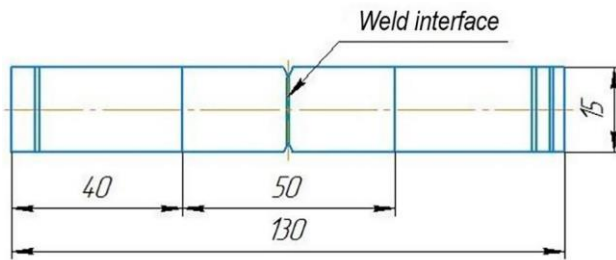
شد ترمو انجام

جدول 3 عوامل، سطوح و تعیین آنها فواصل تغییرات

متغیر یون	سطح عامل		عامل	کدفاکتور
	فاصله = 1 + □□□□ □□ بالا	(0 = □□□□ □□) پائین تر		
25	80	55	30	MPa فشار گرمایش □ گرمایش، فشار آهنگری
55	200	145	90	در حین گرم MPa □ آهنگری، سرعت چرخش
300	1000	700	400	□□□□ l, mm سوختن طول دقیقه در دور n, کردن
3	10	7	4	□□□□



a)



b)

شکل 4 پیکربندی نمونه ها برای آزمایش کشش مکانیکی: آ بدون متمرکز کننده؛ ب با

شده داده جوش اتصال محل در کننده متمرکز □ □ □

یک روی بر شده تخریب های نمونه مطالعات فراکتوگرافی با JEOL-6000 Neo Scope روبشی میکروسکوپ الکترونی شد انجام Inka Dry Cool انرژی پراکندگی پیوسته آنالیز استاندارد) GOST 9450-76 با مطابق های ریزسختی گیری اندازه با بار 0.2 نیوتن HVS-1000 دولتی (بر روی دستگاه سختی سنج برای 10 ثانیه، مرحله اندازه گیری 0.5 میلی متر انجام شد

### بحث و نتایج 3.

#### مکانیکی های ویژگی بر RFW پارامترهای تأثیر 3.1

شده داده اتصال جوش

-طرح باکس با مطابق جوشی اتصالات از آمده دست به مشخصات مکانیکی

4 . است شده داده نشان جدول در پنکن

داده های تجربی STATISTICA با استفاده از بسته نرم افزاری

بر مکانیکی های ویژگی رگرسیونی وابستگی و پردازش شد

آمد دست به پارامترهای جوش

در بریدگی کششی استحکام تعیین برای وابستگی رگرسیون

اتصال جوش:

خیر	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ 1	□ 2	□ 3
1	1 -	1 -	0	0	798	821.2	4.8
2	1 +	1 -	0	0	844	892.8	24
3	1 -	1 +	0	0	721	829	5.6
4	1 +	1 +	0	0	848	1017.2	8.8
5	0	0	1 -	1 -	1100	1105	20
6	0	0	1 +	1 -	951	1079.5	7
7	0	0	1 -	1 +	955	1062.5	5
8	0	0	1 +	1 +	924	1030.5	6
9	0	0	0	0	836	906.5	8
10	1 -	0	0	1 -	712	755	5
11	1 +	0	0	1 -	825	910	4
12	1 -	0	0	1 +	700	758	5
13	1 +	0	0	1 +	778	814.4	12
14	0	1 -	1 -	0	841	836.7	9
15	0	1 +	1 -	0	914	981.1	6.4
16	0	1 -	1 +	0	765	819.6	10
17	0	1 +	1 +	0	726	820	5
18	0	0	0	0	765	836	10
19	1 -	0	1 -	0	863	741.6	4
20	1 +	0	1 -	0	724	849.8	20
21	1 -	0	1 +	0	896	917.8	3.7
22	1 +	0	1 +	0	955	969.6	22.4
23	0	1 -	0	1 -	949	966.1	17.9
24	0	1 +	0	1 -	771	834.4	15.6
25	0	1 -	0	1 +	719	772.4	8.4
26	0	1 +	0	1 +	694	785.6	6
27	0	0	0	0	743	817.5	10

از آمده دست به گرافیکی های وابستگی تحلیل تجزیه و

که آورد می فراهم را امکان این توان پارامترهای هابه ویژگی

تضمین را انتگرال استحکام حداکثر که پارامترهایی محدوده بهینه می کند؛ یعنی مقدار

استحکام کششی حداقل 840 مگاپاسکال، فشار در طول (1)

حرارت دادن 50 تا 90 مگاپاسکال، فشار آهنگری 90 تا 200

مگاپاسکال (شکل 6 ز)؛ محدوده بهینه پارامترهایی که حداکثر انعطاف پذیری اتصال جوش داده شده را تضمین می کند، یعنی

از دیاد طول نسبی حداقل 16٪، فشار گرمایش 65-90 مگاپاسکال

است (شکل 6 ب)؛ محدوده بهینه 120-80 MPa فشار آهنگری

پارامترهایی که حداکثر استحکام ناحیه تماس را تضمین می کند

حداقل شده داده جوش اتصال در کششی مقاومت یعنی مقدار

مگاپاسکال، فشار گرمایش 20 تا 90 مگاپاسکال، فشار آهنگری (2) 740

(و 6 شکل) است مگاپاسکال 140 تا 80

بدر نظر گرفتن نتایج به دست آمده، پارامترهای زیر به عنوان

شکل و استحکام که شدند انتخاب RFW پارامترهای محدوده بهینه

بندی نمودار و جوش

گرمایش AISI 1330-AISI 4340: فولاد جوشی اتصال (3)

(اصطکاک فشار) گرمایش 80-60 = مگاپاسکال، فشار آهنگری □ آهنگری

دور n = مگاپاسکال، سرعت چرخش در حین گرم کردن 400 = 120-140

متر میلی = 4 □ □ سوختن طول و در دقیقه

کننده متمرکز بدون های نمونه کششی های آزمایش در طول

بندی نمودار و جوش

در رابط جوش 66٪ از کل تعداد سم (4) -

نظاف)

AISI 1330: در منطقه آسیب دیده ترمومکانیکی از-

(7. 1). شکل) جوش رابط از زیادی فاصله در لوله بدنه امتداد در-

اتصالات بالا پذیری شکل و استحکام عواملی چه که نکته در کاین

شکست چرا اینکه همچنین و کند می تضمین را شده جوش داده

است جالب بسیار دهد می رخ مختلف های مکان کششی در

بنابراین، نمونه های زیر از اتصالات جوش داده شده در معرض مطالعه

: گرفتند قرار دقیق تری

= شماره نمونه (5) گرمایش 55 = مگاپاسکال، □ آهنگری 145-

دور در دقیقه، □ □ 4 = میلی متر، محل n = مگاپاسکال، 400

رابط از متر میلی AISI 1330 (3.5) فولاد TMAZ تخریب در

جوش؛

= شماره نمونه (7) گرمایش 55 = مگاپاسکال، □ آهنگری 145-

دور در دقیقه، □ □ 10 = میلی متر، محل تخریب n = مگاپاسکال، 400

در رابط جوش؛

= شماره نمونه (19) گرمایش 30 = مگاپاسکال، □ آهنگری 145-

دور در دقیقه، □ □ 7 = میلی متر، محل تخریب n = مگاپاسکال، 400

رابط جوش؛

= گرمایش 80 = مگاپاسکال، □ آهنگری 145 (نمونه شماره -

دور در دقیقه، □ □ 7 = میلی متر، محل 400 = n، مگاپاسکال

رابط از متر میلی 36 فاصله در AISI 1330 پایه فلز تخریب در

جوش).

$$1781,333 + 23,667x] = NTS \quad z = 14875x$$

$$15000 = 103,875 + 3 \quad 15000 = 103,875 + 3$$

$$20167 = 24,125 - z \quad 20167 = 24,125 - z$$

$$44,833 = 36,875 + 4 \quad 44,833 = 36,875 + 4$$

$$20250 = 28000 + 4 \quad 20250 = 28000 + 4$$

$$38250 = 29500 + 4 \quad 38250 = 29500 + 4$$

تعیین برای رگرسیون وابستگی  $2 = 0.751$ . □ □ تعیین ضریب)

جوش اتصال در نهایی استحکام کششی

$$1853, 667 + 52,583x] = TS \quad z = 32667x \quad 2 + 13167x \quad 1$$

$$2 - 20292x$$

$$5000 = 48,108x \quad 4 + 41833x \quad 3 - 35583x \quad 2 + 84,108x$$

$$29000 = 14000 + 1 \quad 29000 = 14000 + 1$$

$$2000 = 103,875 + 3 \quad 2000 = 103,875 + 3$$

تعیین برای رگرسیون وابستگی  $2 = 0.833$ . □ □ تعیین ضریب)

طول در صد از دیاد

$$5,508 + 9,333x] = 2225 - 1 \quad 5,508 + 9,333x] = 2225 - 1$$

$$20508 = 20,204x + 0,246 - 4 \quad 20508 = 20,204x + 0,246 - 4$$

$$0,675 = 1250 + 1 \quad 0,675 = 1250 + 1$$

$2 = 0.763$ . □ □ تعیین ضریب)

است شده ارایه شده کد صورت به معادلات رگرسیون

$$( ) ( )$$

$$55 \cdot 300 = (700 - n) = 3 \cdot 3 \quad 55 \cdot 300 = (700 - n) = 3 \cdot 3$$

که داد نشان آمده دست به معادلات آماری تحلیل تجزیه و

نقشه اساس بر هستند مناسب فیشر معیار اساس هابر مدل

های پارتو (شکل 5، مشخص شد که تمام پارامترهای جوشکاری

داده جوش اتصال اصلی های ویژگی بر آزمایش در مورد استفاده

داده جوش اتصال بریدگی کششی استحکام گذارد می شده تأثیر

(2). شکل) است گرمایش حین در چرخش سرعت تأثیر شده تحت

شده داده جوش اتصال طول از دیاد و نهایی کششی استحکام (5)

ج و ب 1). شکل) است گرمایش حین در فشار تأثیر تحت عمدتاً

مقادیر مقایسه و تقریب گزینه چندین تحلیل و تجزیه بر اساس

مشاهده شده و پیش بینی شده، مشخص شد که مدل بدون

استثناء تعامل بین عاملی به طور کامل توصیف شده است در

عین حال، اختلاف بین داده های تجربی و پیش بینی شده بیش از

نیست که نشان دهنده کفایت مدل های به دست آمده 15٪

است.

سطوح پاسخ به دست آمد، STATISTICA با استفاده از برنامه

که است شده مشخص (6. 1). شکل) شد تحلیل و تجزیه

حداکثر شکل پذیری و بیشترین استحکام اتصال جوش داده شده

همدر لیه و هم در انتگرال، برای سرعت چرخش 400 دور در

دقیقه ارایه می شود (شکل 6). الف، ج (و طول سوختگی 4 تا

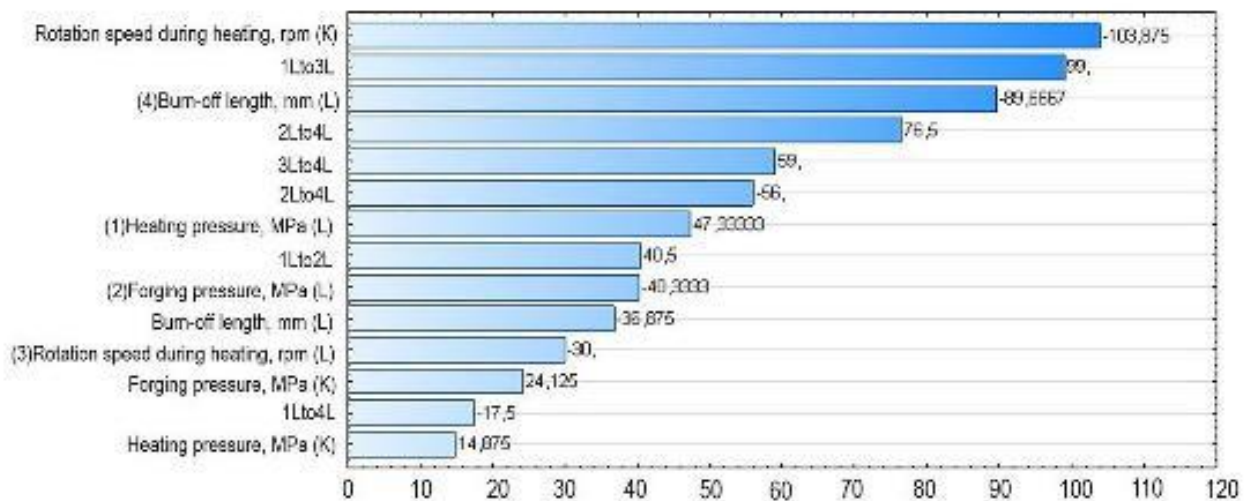
عنوان به پارامترها این از زیر مقادیر راستا این در متر میلی 6

دقیقه در دور  $n = 400$  بهینه در نظر گرفته شد: □ □ 4 = میلی متر؛

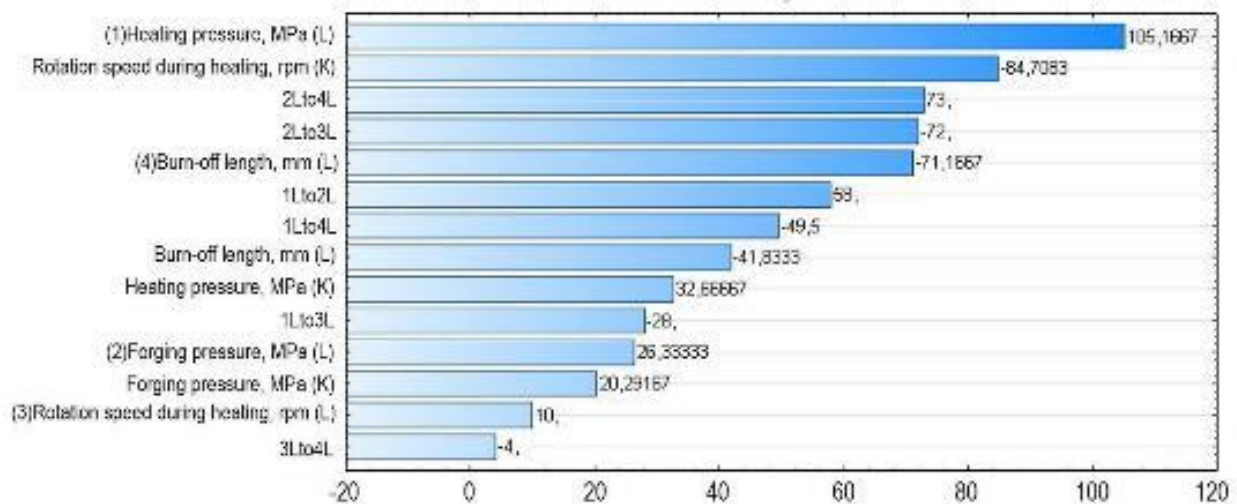
شکل) شد انجام مقادیر این در نیرو پارامترهای تأثیر ارزیابی بیشتر

$$f(2, e, d)$$

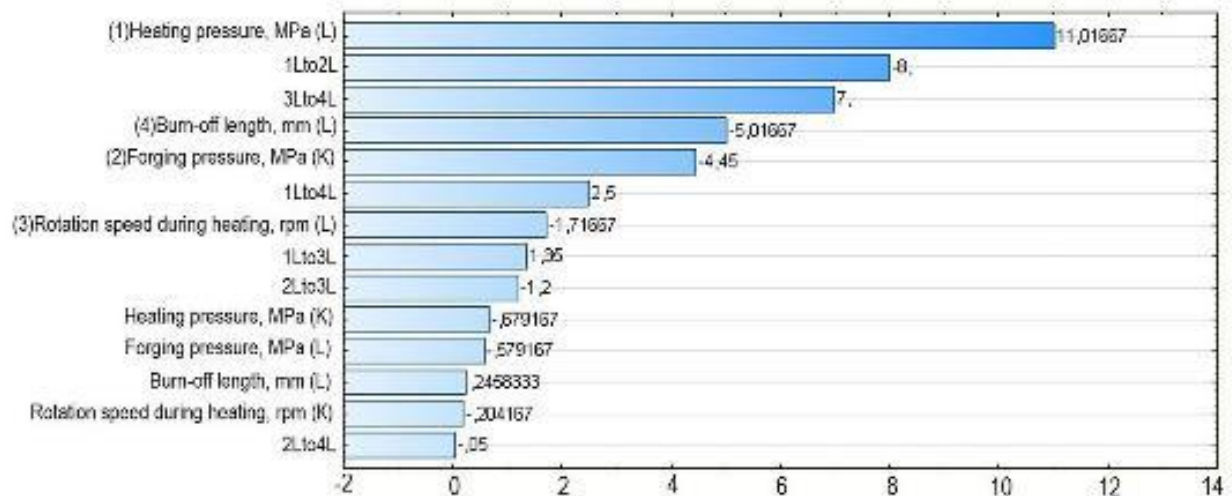




a)

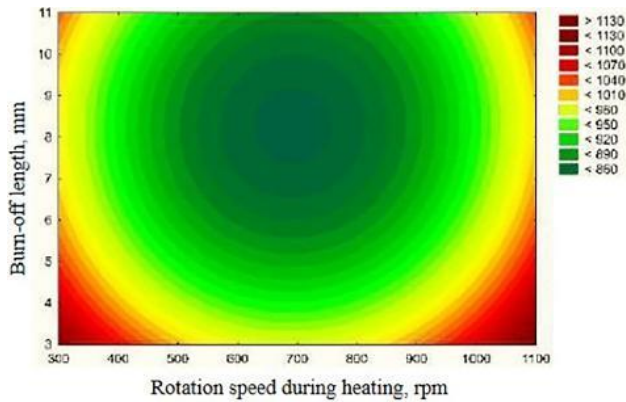


b)

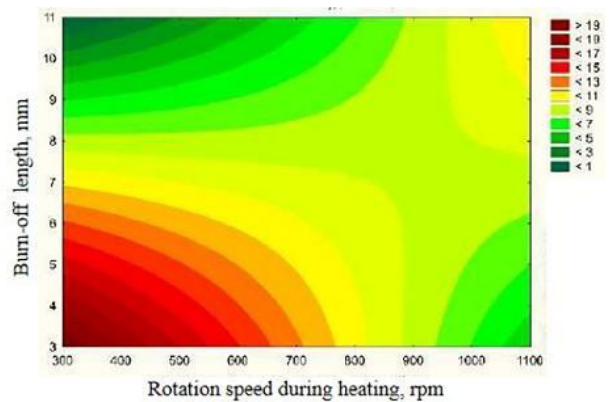


c)

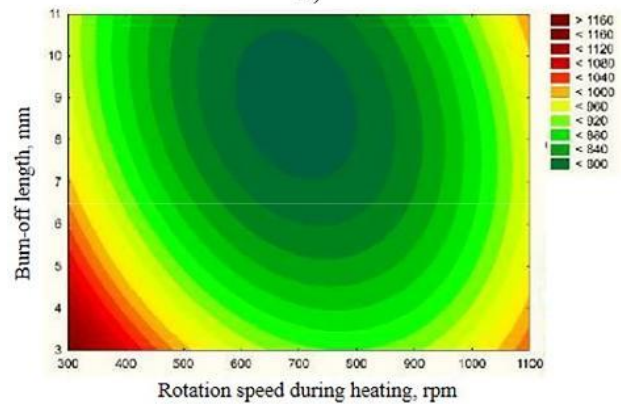
شکل 5 نقشه اثرات پارتو: آ) استحکام کششی بریدگی در رابط جوش؛ ب) استحکام کششی نهایی در اتصال جوش داده شده؛ ج) ازدیاد طول در اتصال جوش داده شده



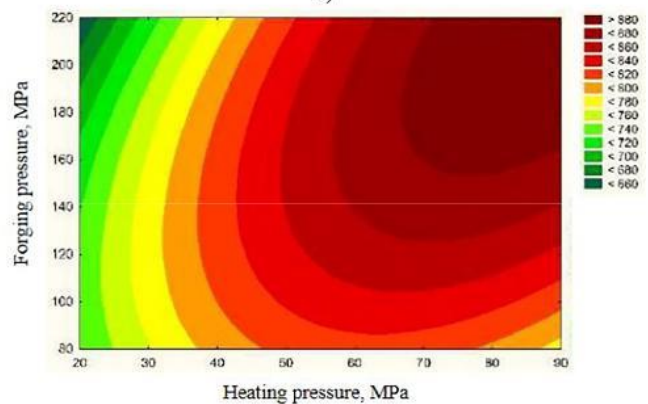
a)



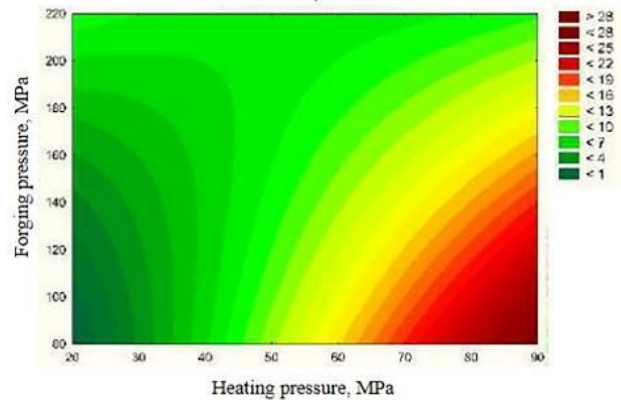
b)



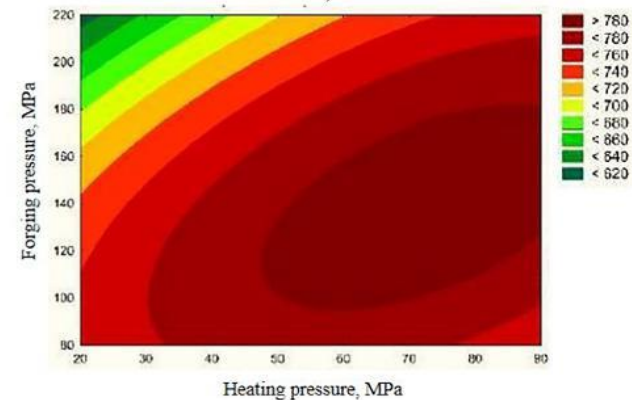
c)



d)



e)



f)

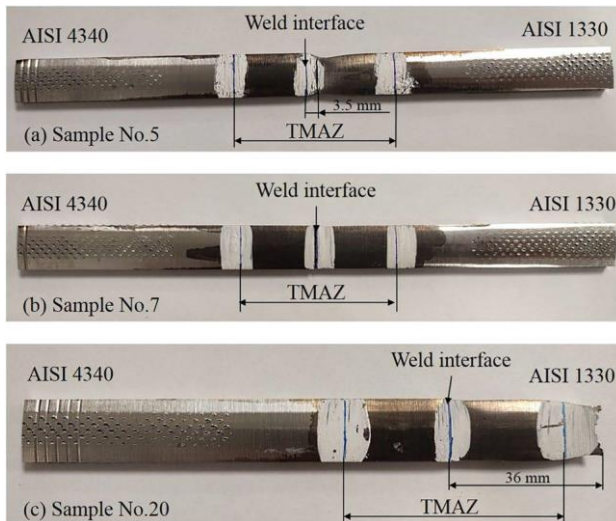
اتصال اصلی‌های ویژگی بر RFW فرآیند پارامترهای تأثیر پاسخ سطوح 6 شکل  
آ طول سوختن و سرعت چرخش در طول AISI 4340: و AISI 1330 جوشی فولادهای  
گرمایش برای استحکام کششی نهایی؛ ب (طول سوختن و سرعت چرخش در طول گرمایش  
سوختن طول ج. طول افزایش برای

فشار آهنگری و فشار از شکاف کششی استحکام برای گرمایش طول در چرخش و سرعت  
گرمایش بر روی استحکام کششی شکاف؛ ه فشار گرمایش و فشار آهنگری در ازدیاد طول  
کششی شکاف استحکام روی بر گرمایش فشار و آهنگری فشار f

در جریان تجزیه و تحلیل فراکتوگرافی، مشخص شد که تخریب  
(19 و 7 شماره نمونه) شده داده جوش اتصال امتداد در نمونه‌ها  
(1. 8 شکل) دهد می رخ کریستالی ترانس مکانیسم براساس  
ترانس شکاف یک وجوه با هابی نمونه های چنین ریزنقشه  
شوند می منتشر مواد اعماق در که ثانویه های ریزترک کریستالی و

شود می نشان داده

حداقل که 19 نمونه شماره شکستگی هنگام در آرامش استرس  
استحکام اتصال جوش داده شده را دارد، همراه با وجوه شکاف  
ترانس کریستالی، دارای مناطق صاف صاف "نگرفتن" و آثاری از  
در که 20 شماره نمونه شکستگی. است فلز شکل جریان تغییر  
است ریخته فرو لوله بدنه امتداد در تماس خط از فاصله زیادی



آزمایش از پس AISI 1330-AISI 4340 جوشی اتصالات تخریب محل 7 شکل

(تنش کننده متمرکز بدون های نمونه) کشش استاتیکی

لباس فرم؛ مکانیسم شکست با تشکیل یک برجستگی کم عمق چسبناک است که نشان دهنده انعطاف پذیری بالای مواد در ناحیه شکستگی است. شماره به همین ترتیب فرو ریخت. AISI 1330 فولاد TMAZ نمونه 5 در AISI و همدر فلز پایه فولاد TMAZ بنابراین، نمونه هایی که هم در شکست خورده اند، با مکانیزم شکست انعطاف پذیر مشخص می 1330 شوند.

شده داده جوش اتصال یک ریزساختار 3.2

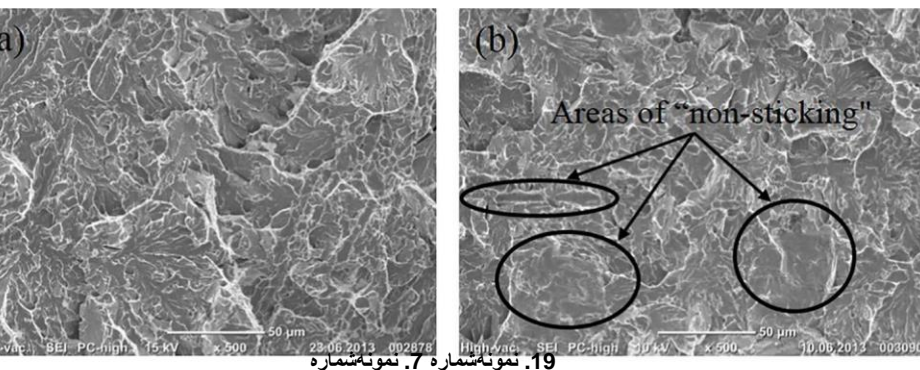
مواد جوش تماس خطوط. است ناهمگن شده داده جوش ریزساختار اتصال TMAZ ریزساختار در. است مشاهده قابل وضوح به TMAZ و شده داده تقسیم کرد منطقه سه به مشروط طور به توان می را

c3 (بحرانی نقطه از بیش دماهای و ها شکل تغییر تأثیر تحت منطقه- منطقه 1، شکل A9) A به A c1 محدود در دماها و ها شکل تغییر تأثیر تحت منطقه- منطقه 2، شکل c39) منطقه 3 شکل c1.) بود A منطقه تبلور مجدد، که در آن دما نزدیک به-

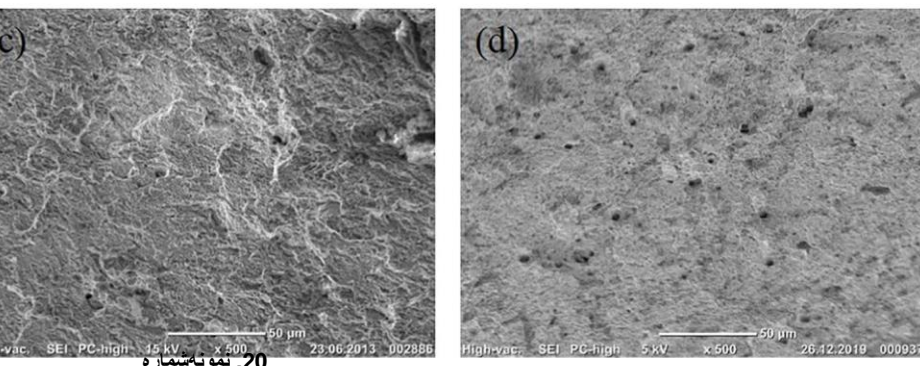
9

ساختار یک (1 منطقه) شده داده جوش اتصال نزدیکی در که است مشخص شده AISI مارتنزیت سوزنی شکل در سمت فولاد 4340 و در سمت فولاد (9 شکل) است تشکیل شده بینیت - مارتنزیت مخلوط ساختار یک 1330 (1. شکل) از طرف TMAZ 2 در) به عنوان مثال. (همانطور که از رابط جوش) منطقه هر دو فولاد دور می شوید، ریزساختار ساختاری فیبری پیدا می کند و از نوارهای متناوب مخلوط مارتنزیت باینیت و مخلوط فریت-سیمانیت پراکنده ریز تشکیل شده است. 9 قبل از میلاد مسیح. (در ناحیه انتقال) منطقه 3 به فلز پایه، ساختار به خوبی پراکنده شده و از مخلوطی از فریت و سمنتیت تشکیل شده تمپر مارتنزیت فولاد دو هر پایه ریزساختار فلز. (آگهی 9. است شده طول در ریزساختار در تغییر ویژگی از این. است

داده شده جوش اتصال فرکتوگرام 8 شکل پس از AISI 1330-AISI 4340 آزمایش کشش استاتیکی: آ محل تخریب در رابط جوش؛ ب محل تخریب در رابط جوش؛ ج محل تخریب در فلز پایه رابط از متر میلی 36 در فاصله 1330 در تخریب محل از جوش میلی 3.5 فاصله در AISI TMAZ جوش محل متری از رابط



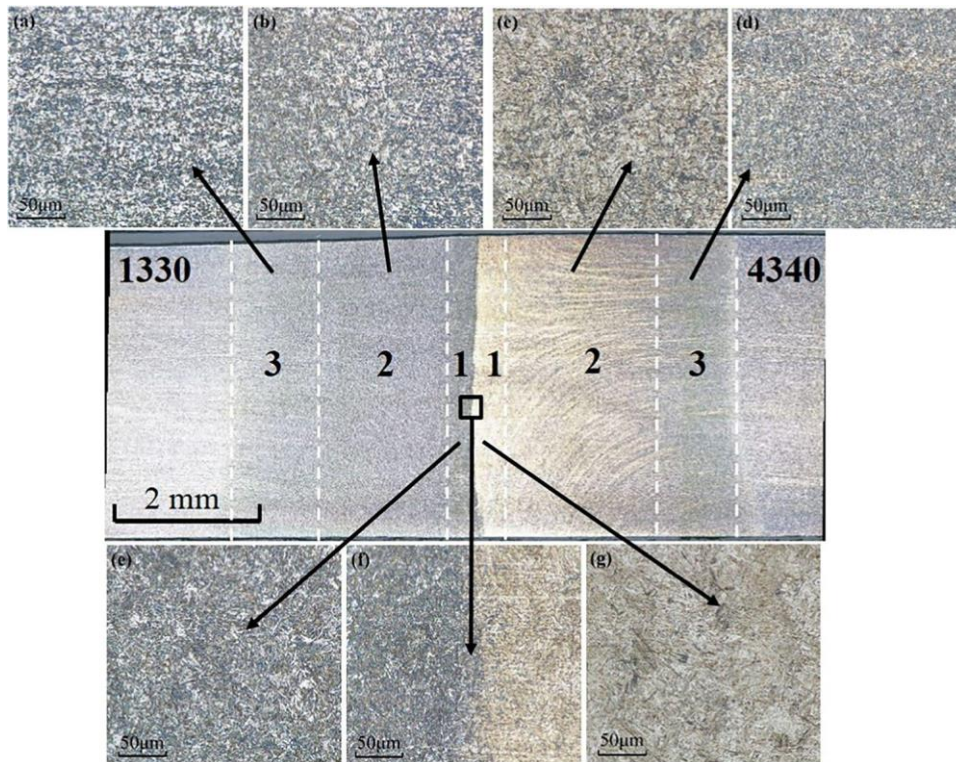
19. نمونه شماره 7. نمونه شماره



20. نمونه شماره

5. نمونه شماره





اتصال TMAZ ریزساختارهای شکل 9 و AISI 1330 4340 جوشی فولادهای جوش داده شده بر اساس حالت AISI شماره (20) گرمایش 80= مگاپاسکال، دور  $n=145$  = مگاپاسکال، 400 در دقیقه، 7 میلی متر: (آ، ب، ه، ج، گ، f AISI 4340؛ از AISI 1330؛ نزدیک منطقه تماس؛ ب، گ، رابط جوش؛ ه، آ، از مناطق انتقال فلز پایه TMAZ؛ وسط

و فولادها تماس ناحیه در شده تولید گرمای توزیع با TMAZ طول است. مرتبط بعدی تبدیل فازهای

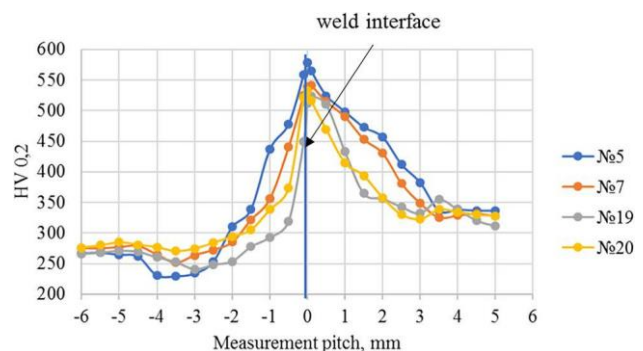
تقریباً یکسان است و TMAZ برای شماره های نمونه 5 و 7، طول TMAZ میلی متر است. برای نمونه شماره 19، حداکثر طول 7.5-7 حدود 8-9 میلی متر است. برای نمونه شماره 20، حداقل طول حدود 6 به فشار گرمایش در TMAZ میلی متر است. بنابراین، وابستگی طول TMAZ طول سوختن معین (وجود دارد: با افزایش فشار گرمایش، طول زمان کاهش با گرما. است همراه توزیع محدودیت در با که باید می کاهش فرآیند

ناشی از فاز تبدیل به مربوط TMAZ طول در ریزسختی ماهیت توزیع اثر تغییر شکل حرارتی فرآیند جوشکاری است (شکل 1). 10 مشاهده هر دو ناحیه سخت شده و TMAZ می شود که در فرآیند جوشکاری در نرم شده نسبت به فلز پایه مواد جوش داده شده تشکیل شده است. سختی در نزدیکی خط تماس HV578-512 در حد 0.2 AISI 4340 بالای فولاد AISI 1 به دلیل وجود ساختار مارتنزیتی در آن است. در فولاد (منطقه) مقادیر میکروسختی در نواحی تماس تا حدودی کمتر است 436-، 1330 سختی دلیل به هم و کمتر کربن محتوای دلیل به هم 0.2 (HV) 248 پذیرای کمتر

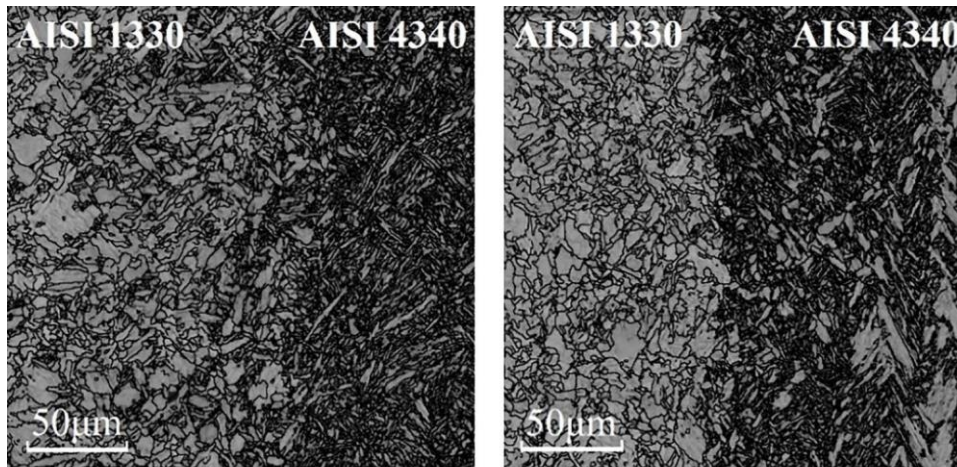
با افزایش فاصله از خط تماس، مقادیر ریزسختی به تدریج حداقل به (3 منطقه) مجدد تبلور ناحیه در و باید کاهش می هستند؛ 0.2 HV 382-315 آنها، AISI 4340 می رسد- برای فولاد هستند AISI 1330 برای فولاد

ریزسختی مقادیر با TMAZ AISI 1330 فولاد 0.2216-264 HV است. شدن نرم منطقه پایه فلز به نسبت و شود می کمتر مشخص

تأثیر TMAZ در ریزسختی مقادیر روی بر پارامترهای جوشکاری AISI 1330 دارند. در نمونه شماره 19، گسترده ترین منطقه نرم در فولاد شد تشکیل نشان (1). 11 شکل) شده داده جوش اتصال ریزساختار تحلیل تجزیه و داد که برای تخریب نمونه ها در امتداد رابط جوش دو ماده (نمونه شماره 7، نمونه شماره 19، ناحیه اتصال یک مرز واضح است که در صفحه تماس جهت گیری می کند. برای تخریب نمونه دوراز رابط جوش (نمونه شماره 5 و 20)، خط تماس تار است و عمدتاً از دانه های مشترک دو ماده تشکیل شده است.



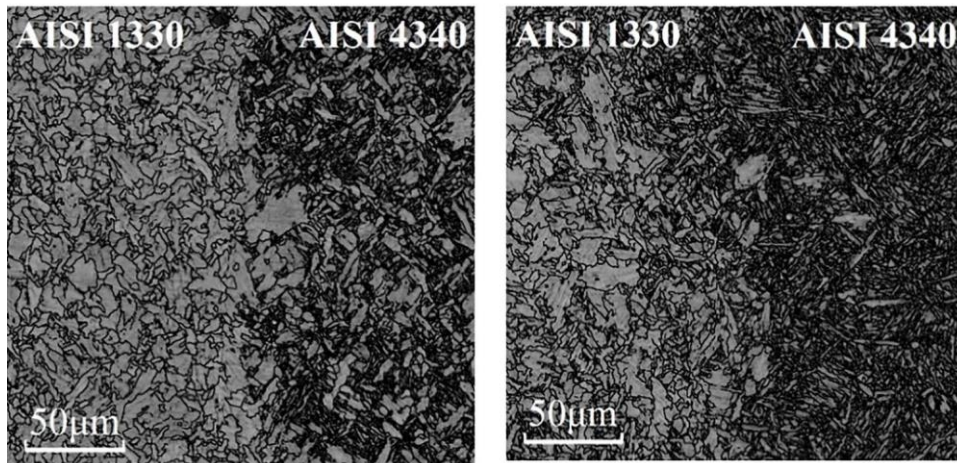
4340 AISI شده داده جوش اتصال TMAZ امتداد در ریزسختی توزیع شکل 10 1330-AISI



5 نمونه شماره

شده با داده جوش اتصال ریز ساختار 11 شکل  
آمده است دست به EBSD آنالیز از استفاده  
جهت نقشه های روی بر ای دانه بین مرزهای  
ساخته درجه 15 نادرست گیری جهت در گیری  
(اند شده)

7 نمونه شماره



19 نمونه شماره

20 نمونه شماره

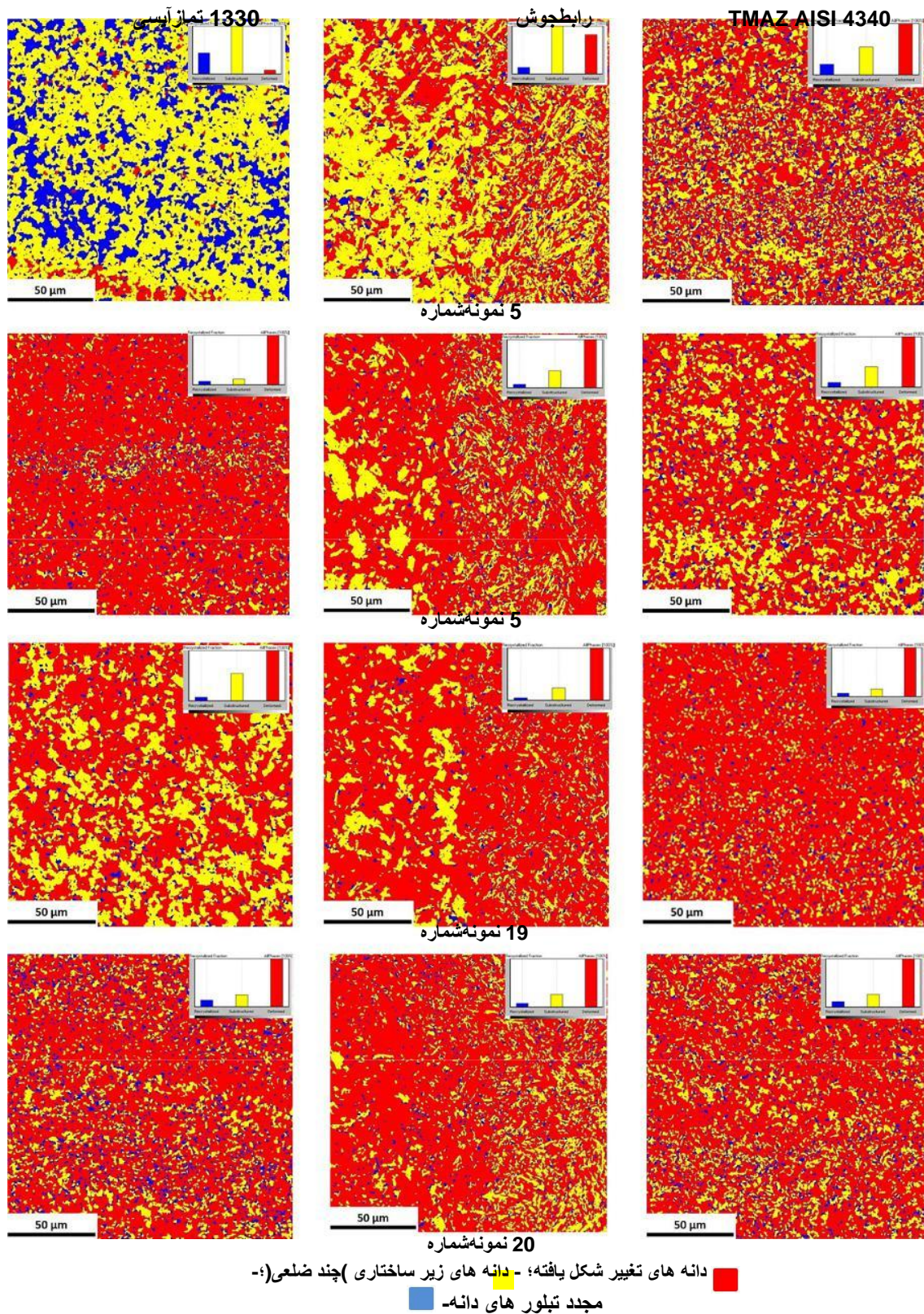
جوش داده شده، که به نوبه خود نشان دهنده ایجاد شرایط برای  
است RFW فرآیند در متقابل تبلور مجدد  
غیر فلزات اصطکاکی جوشکاری طول در که مشخص است  
[ مشابه، ترکیبات بین فلزی در سطح مشترک ایجاد می شود که در  
شیمیایی ترکیب با مواد اصطکاکی جوشکاری در 22-25 ].  
یکسان، فرآیند اتصال با تشکیل دانه های مشترک در سطح  
نتیجه در شوند داده جوش است قرار که قطعاتی مشترک بین  
فرآیند تبلور مجدد دینامیکی پایان می یابد. 11، [ 26

شدت تبلور مجدد دینامیکی تحت تأثیر عواملی مانند دما، درجه  
تغییر شکل، ترکیب شیمیایی ماده و نرخ کرنش است. [ 27  
عناصر و کربن محتوای نظر از کار این در مطالعه فولادهای مورد  
آلیاژی (کروم، مو، نیکل، منگنز) متفاوت هستند. مشخص است  
که منگنز در فریت و آستنیت حل می شود، در حالی که مو و کروم  
کند را مجدد تبلور فرآیندهای که دهند می تشکیل را ذرات کاربید  
نشان درز مجاور نواحی در مارتنزیتی ساختار وجود [ 27 ]. می کنند  
آستنیتی کاملاً فاز در فولادی های لوله اتصال فرآیند که می دهد  
حالت های گونه انتشار و پلاستیک جریان دو هر. است انجام شده

جامد هستند

و C، Cr بهبود در فاز آستنیت، که ناحیه جوش را با عناصری مانند  
منگنز در فولاد غنی می کند. 13، [ 28 توسعه انتشار، به احتمال  
زیاد، توسعه فرآیند تبلور مجدد دینامیکی متقابل دو فولاد را  
سطح دمای به همه از اول فرآیندها این شدت. کند تسهیل می  
مشترک بین مواد بستگی دارد [ 29، که به نوبه خود توسط  
در 5 و 7 نمونه های شماره. شود می تعیین پارامترهای جوش  
افزایش با که است بدیهی. هستند متفاوت گرمایشی میزان بارش  
رسوب گرمایش، زمان مرحله گرمایش افزایش می یابد [ 1. ] با  
افزایش زمان گرمایش (اصطکاک)، دما در سطح مشترک به طور  
کاهش دما آن از پس و یابد می افزایش خاص نقطه یک مداوم تا  
، [ این پدیده در 30، RFW می یابد. بر اساس شبیه سازی فرآیند  
نرخ افزایش مستلزم دما افزایش که است دلیل این به این [ 31].  
کرنش است. فلزی که گرم تر می شود، انعطاف پذیرتر می شود و  
راحت تریه داخل سوراخ اکستروود می شود. بنابراین، لایه های  
فلزی سردتر با هم تماس پیدا می کنند، که مانع توسعه انتشار و  
7 شماره نمونه مشترک سطح در مفصل دینامیکی تبلور مجدد  
شود می.





EBSD ساخته شده بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل، AISI 1330-AISI 4340 شکل 12 نقشه تبلور مجدد اتصالات جوشی

با AISI 4340 و AISI 1330 فولادهای جوشی اتصال استحکام 3. و فرآیندهای فولاد مشترک سطح در متقابل مجدد تبلور توسعه فرآیندهای تغییر چرخه تحت تأثیر که شود می تعیین TMAZ در کرنش شدن سخت شود می محقق جوشکاری حرارتی شکل

[31] در است متفاوت گرمایش فشار در 20 و 19 نمونه شماره های که فشار گرمایش به طور قابل توجهی بر دما در سطح مشترک فولاد تأثیر نمی گذارد. در این مورد، نیروی محرکه فرآیند تبلور مجدد متقابل، به احتمال زیاد، افزایش درجه تغییر شکل دانه انباشته بود

برای تجزیه و تحلیل تغییرات داخلی رخ داده در ساختار دانه، نقشه به دست آمد که EBSD های تبلور مجدد با استفاده از برنامه پردازش تصویر تخمین نسبت دانه های تبلور مجدد، زیرساختار و تغییر شکل تشکیل شده در طول تبلور مجدد دینامیکی را ممکن می سازد (شکل 12). 1 مشخص شده TMAZ AISI 1330 است که برای نمونه شماره 5، تخریب شده در فولاد ها نمونه سایر از بیشتر توجهی قابل طور به مجدد های تبلور دانه نسبت دارای نمونه این جوشی اتصال نواحی سایر با مقایسه در این سازه است تشکیل دانه است بوده زون این در تخریب دلیل که است حداکثر ریز سختی فرآیندهای دهنده تشدید نشان 7. شماره نمونه در یافته شکل تغییر های عمدتا است سردتر تشکیل فلز و دما کاهش دلیل به کرنش شدن سخت

ریزی برنامه داشتند مشارکت مطالعه طراحی و مفهوم در نویسندگان مشارکت نویسندگان همه و اجرای آزمایش، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها و آماده سازی مطالب انتشار توسط آنا ایساوا، النا پریماک، آرتم آتاماشکین و الکساندر کیریلنکو انجام شد. اولین پیش نویس و است شده نوشته پریماک النا و ایساوا آنا توسط نویسندگان مشترک طور به خطی نسخه نسخه نویسندگان همه اند داده نظر نوشته دست قبلی های نسخه در مورد نویسندگان همه کردند تایید و خوانده را خطی نهایی نسخه

است شده پشتیبانی روسیه علمی بنیاد توسط کار منابع مالی این

رهبر گرنت آنا <https://rscf.ru/project/21-79-00085/>. 21-79-00085

ایساوا است

علامیه ها

ندارند رقابت به ای علاقه هیچ که کردند اظهار منافعه رقابتی نویسندگان

## منابع

هنگام مقایسه شماره های نمونه در شکل های 19 و 20، افزایش تعداد این که شود مشاهده می گرمایش فشار افزایش با یافته شکل تغییر های دانه پارامتر این افزایش با ها انباشته دانه شکل تغییر که کند می تایید را فرض باید می افزایش

با AISI 1330-AISI 4340 بنابراین، استحکام اتصالات جوشی توسعه فرآیندهای تبلور مجدد متقابل در سطح مشترک فولاد و سخت شدن AISI تعیین می شود. پارامترهای تنظیم شده برای اتصال TMAZ کرنش در یعنی گرمایش 80 = مگاپاسکال، آهنری 145 = 1330-AISI 4340 دور در دقیقه و 7 = میلی متر، برای به دست n = مگاپاسکال، 400 آوردن بادوام ترین اتصال استفاده می شود که در آن ضعیف ترین نقطه، گیرد نمی قرار جوش تأثیر تحت که است AISI 1330 فولاد پایه فلز ناحیه

## گیری نتیجه 4.

با که AISI 1330 و AISI 4340 جوشی اتصالات مطالعه براساس استفاده از جوشکاری اصطکاکی دوار تولید شده اند، نتایج زیر حاصل شد:

تحت بیشتر AISI 1330 و AISI 4340 فولادهای رابط استحکام 1. تأثیر سرعت دورانی قرار می گیرد، در حالی که استحکام یکپارچه اتصال گرمایش است فشار تأثیر تحت بیشتر شده داده جوش

که استحکام کششی بریدگی  $R_{FW} \leq 740$  پارامترهای بهینه 2.

مگاپاسکال، استحکام کششی نهایی اتصال جوش داده شده  $\leq$

کند می فراهم را درصد  $\leq 16$  طول ازدیاد و مگاپاسکال 840

دوردر  $n =$  گرمایش 80-60 = مگاپاسکال، آهنری 140-120 = مگاپاسکال، 400

متر میلی و دقیقه

Mashinostroenie: فلزات اصطکاکی جوشکاری (1970) VI ویل 1. <http://vill-vi/svarka-metallov-treni-em-download-606858.html>. 176

<https://www.rulit.me/author> Intl Mater Rev 61:71-100. چرخشی و خطی اصطکاکی جوشکاری بررسی.

(2016) Li WY, Vairis A, Preuss M, Ma TJ 2933284382. <https://www.researchgate.net/publication/Impact>

Innov Mech Eng 5:1557-1560. مقاله مروری در مورد، SU 2017(2017) ها ایده المللی بین کنفرانس. دوار جوشکاری اصطکاکی

Deokar, 3. Shete N

جامد حالت فلزات اتصال مورد در هنر بر مروری. J Manuf Sci Eng 141: 031012.

G, Vivek A, Li J, Khan H, Mishra RS, Komarasamy M 2019(

/publi cation/327137875 4. Cai W, Daehn

<https://www.researchgate.net>

عباسی م، گیوی م، باقری ب (2020) روشی جدید برای افزایش ویژگی های 5.

تنگستن اثر بی گاز توسط شده تولید AI-5052 آلیاژ مکانیکی جوشکاری

Proc Institution Mech Eng، قسمت B

(2020) J A Manuf 0 10.1177/0954405420929777 <https://doi.org/10.1177/0954405420929777>

ادبیات انتقادی ارزیابی - اصطکاکی جوشکاری (2007) ام ملکیان 6.

Sci Technol Weld Joining 12:738-759

مشابه فلزات اصطکاکی جوشکاری بررسی. J Phys: Conf Ser 1362:012032.

7. Ramesh AP, Subramaniam M, Eswaran P 2019(

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1362/1/012032>

Weld Int 4:734. NV 1990(

Semkin, Tkachev YA, 8. Sutovskii PM

و تجربه: اکتشافی مته های لوله ساخت برای چرخشی اصطکاکی جوشکاری از استفاده

2020( 42:437 ES ماتالی چارنی. صنعتی تحقیق

Tulibaev, Kuzmina EA, Atamashkin AS, 9. Priymak EYu

// Mater Res 18 3(503-508: 3) اثر فرآیند

با شده داده جوش مشابه غیر مته لوله مکانیکی خواص و روی ریزساختار

10. Emre HE 2015(10. Kaçar R اصطکاکی

<https://doi.org/10.1590/1516-1439.308114>

جوش داده اینرسی اصطکاکی در مکانیکی خواص و ریزساختار تکامل بین متقابل رابطه

2021( 11. Banerjee A, Ntovas M, Da



- Arch Civil Mech Eng 21:149 // <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00300-9> / فولاد
- ASTM A 106 و AISI 4140 درجه B عمیق اکتشاف حفاری در استفاده مورد // 12. فولادهای بین اصطکاک با شده داده جوش مشابه غیر های لوله ارزیابی اتصالات Khadeer SKA, Babu PR, Kumar BR, Kumar AS )2020( <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.078.04.2020> J Manuf Process 56:197-205.
- فولاد اتصال رابط های ویژگی ارزیابی. // Mater Sci Eng A 824:141844. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141844> 13. Kumar AS, Khadeer SKA, Rajinikanth V, Pahari S, Kumar BR )2021( <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141844> 13. Kumar AS, Khadeer SKA, Rajinikanth V, Pahari S, Kumar BR )2021( جوشکاری پارامترهای سازی بهینه 10: 53-21. AISI 1035. انداز فکری. اصطکاک برای دستیابی به حداکثر استحکام کششی در میله های فولاد کربنی درجه Palanikumar K )2014( 14. Selvamani ST <https://www.researchgate.net/publication/261350497> با همراه آماری سازی بهینه. Int J Adv Manuf Technol 116:2285-2298. فولادی های میله C45 تا: NiCr6 ریزساختاری و رویکردهای مکانیکی P, Cheniti B, Miroud D )2021( Y, Mazouzi A, Lebouachera SEI, Hassan AJ, Fides M, Hvizdoš <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07597-z> 15. Belkahla جوشکاری فرآیند پارامترهای سازی بهینه. J Iron Steel Res Int 19:66-71. 2012( V زنگ ضد فولاد و کربنی فولاد اتصال اصطکاک برای Balasubramanian, Lakshminarayanan PR, Paventhan R [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60049-1](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60049-1) پارامترهای برای سازی بهینه. Int J Mech Mater Des 3:309-318. 2006( Haq A چندگانه عملکردی های ویژگی با جوشکاری اصطکاک Sathiya P, Aravindan S, Noorul <https://doi.org/10.1007/s10999-007-9037-z> 17. جوشکاری در AA1100 نرم فولاد و. 42-34: Int Rev Appl Sci Eng 11(1) 2020( R توسط سازی بهینه RSM آلومینیوم آلایژ اصطکاک دوار Khalfallah F, Boumerzoug Z, Selvarajan <https://doi.org/10.1556/1848.2020.00005> با لیزر کمک به دوار اصطکاک جوشکاری فرآیند در J Adv Manuf Technol 47:11-20. و آلایژ T4- استفاده از یادگیری ماشین: مقایسه با روش سطح پاسخ بین المللی پیش بینی استحکام کششی نهایی اتصالات فولادی AISI 1045 آلومینیوم Ramos-Grez JA, Mullo JL, Barrionuevo GO <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07469-6> 2022( SE عبدالله زاده ع، باقری ب، ونگی ع، شمسی پور ع، میرصالحی 20. و فلزی بین گیری شکل مورد در تجربی مطالعه و سازی شبیه پیشرفت در قطر ای نقطه عبور اثر: روی میانی لایه با Al-Cu کامپوزیت تکامل تر مومکانیکی اغتشاشی اصطکاک ای نقطه جوشکاری فرآیند بین بدون طول در شانه Proc Institution Mech Eng, Part L: J Mater: Des Appl 0 )0( <https://doi.org/10.1177/14644207221146981> باقری ب، شریفی ف، عباسی م، عبدالله زاده ع )1391( در مورد نقش 21. و ریزساختار بر ورودی پارامترهای جوشکاری
- اصطکاک جوشکاری طول در Al6061-T6 آلایژ خواص مکانیکی قسمت Proc Inst Mech Eng عددی و تجربی بررسی: اغتشاشی L: J Mater Design Appl 236(2):299-318 <https://doi.org/10.1177/14644207211044407> مکانیکی خواص و ناهمگن ریزساختار. J Mater Process Tech 272:17-27. 5052 آلومینیوم آلایژ بین دوار اصطکاک اتصالات جوشی ضد فولاد و 304 )2019( Donga H et al <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.04.03922> 304 Intl J Adv Manuf Technol 102:2845-2863. 2019( at al میانی های لایه با غیر مشابه فلزات های جوشکاری بین اتصال کششی استحکام و اتصال پدیده. Fang Y Int J Adv Manuf Technol. اصطکاک جوش توسط حرارت برابر در مقاوم فولاد و نیکل سوپر آلایژ پایه 2019( Kimura M et al <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03611-724> Intl J Adv Manuf Technol 107:1713-1723. Al/Fe شده داده جوش اصطکاک. Liu Y. اتصالات در اتصال های پدیده و متالورژیکی واکنش (2020). و همکاران <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05128-w25> 25. J Mater Res Technol. دوار اصطکاک با شده داده جوش. 2024 Li P et al )2020( 26. اتصالات مکانیکی خواص و ریزساختار ناهمگن <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.100> 100 M. تبلور مجدد و پدیده های بازپخت مرتبط، آکسفورد، ص 497 27. Humphreys FJ )1996( Hatherly AISI 1020-ASTM A536. Int J Adv Manuf Technol 84:941-955. خواص و کششی استحکام بر اصطکاک پارامترهای جوشکاری اثر 28. Winiczenko R )2016( <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7751-5> آلایژها و فلزات در انتشار: جامد حالت. Annu Rev Phys Chem 6:119-140. 1955( Kleppa OJ <https://doi.org/10.1146/annur.ev.pc.06.100155.00100329> بر دوار اصطکاک جوشکاری فرآیند مدلسازی. J Manuf Process 37:21-27. 2019( Nan X et al <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.11.016> جوشکاری مورد در تجربی و عددی بررسی. J Manuf Process 47:83-97. 2019( P et al متوسط کربن فولاد و آستنیت نزن زنگ اصطکاک فولاد <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.016.09.201931> Geng
- وابستگی های و شده منتشر های نقشه در قضایی ادعاهای به توجه با یادداشت ناشر Springer Nature ماند می باقی طرف بی سازمانی این مقاله انحصاری حقوق (دیگر شریک یا انجمن یک مثال عنوان به) آن دهنده یا مجوز. خود آرشو. دارند حقوق دارندگان سایر یا (ها) نویسنده با انتشار نامه توافق تحت را و انتشار نامه توافق شرایط چنین تحت مقاله صرفا این شده پذیرفته خطی نسخه نویسنده Springer Nature است اجرا قابل قوانین