

Структурни изменения в твърда сплав при заваряване

Теофил Ямболиев

Structural changes of a hard metal alloy due to boinding: This work aims to explain the low strength and brittleness of hard metal - steel joints obtained by induction heating diffusion bonding. It was found that overheating of the hard metal plate takes place. Vaporization of Co forming dark zones as well as partial melting of the hard metal alloy are related to the low strength and brittleness of the joint.

Keywords: hard metal, diffusion bonding, induction heating, brittleness, cracking

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Твърдите сплави са незаменим материал в инструменталното производство. Дифузионното им заваряване със стомана осигурява необходимите качества на инструмента [1-4]. Нагреването е често индукционно. Топлина се отделя в тесен повърхностен слой. Вътрешността на детайлите се загрява чрез топлообмен [5].

Изследвани са съединения на твърди сплав ВК20 със стомана Х12Ф1 [6-9]. Твърдата сплав има ниска топло- и температуропроводност [1, 2]. Дори при ниска скорост на нагряване - 25 °С/мин, в нея възникват дефекти, характерни за скорост на нагряване 100 °С/мин. Като причина за образуването им се счита прегряване на твърдата сплав поради недостатъчна хлабина между индуктора и заваряваните детайли [3, 6-9].

За ниска якост на дифузионно заварени съединения на сплави ВК15 със стомани се съобщава в [6, 7], без да са изясняват причините за нея. Наблюдавани са тъмни петна по околната повърхност на пластината, чийто произход и влияние е неизяснен. Настоящата работа цели да запълни малка част от тази празнина.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Опитното тяло е съставено от пластина ВК15 (WC+15 % Co) и цилиндрични заготовки с химичен състав и размери според табл. 1 и 2. Твърдосплавната пластина има грапавост на челата Ra 0.63 мкм, а стоманените заготовки – Ra 5 мкм [2-4]. От двете страни на твърдосплавната пластина се поставя вложка от технически чист Ni – 99.9 % [2, 3]. Едностранно хлабината между индуктора и опитното тяло варира в границите 2-3.5 мм поради несъосност между тях вследствие случайни грешки при установяване и нецилиндричност на индуктора.

Таблица 1 Химически състав на стоманите, % [10]

Стомана	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	V
У8	0.8	0.30	0.35	0.03	0.04	-	-	-	-
9ХС	0.85	1.37	0.43	0.03	0.03	1.16	0.33	0.28	0.16
Х12Ф1	1,35	0,28	0,35	0,03	0,03	12,2	0,3	0,3	0,72

Таблица 2 Размери на заготовките и индуктора, мм, [6]

Материали	Заготовки ВК15/стомана	Диаметър на индук- тора, мм	Хла- бина, мм *
	dxl / dxL		
ВК15/Ni/ У8	Ф7х4 / Ф10х56	14-17	2-3.5
ВК15/Ni / 9ХС	Ф7х4 / Ф10х56	14-17	2-3.5
ВК15/Ni/ Х12Ф1	Ф13х4/Ф13х58	18-19	2-3.5

Режимите на заваряване са представени в табл. 3. Камерата се вакуумира до налягане $5 \cdot 10^{-4}$ Па. Скоростта на нагряване е 25-50 °С/мин. Начин на охлаждане: във вакуум до 300 °С, след това на въздух до стайна температура. Температурата на

нагряване се управлява с термодвойка хромел-алумел, закрепена върху една от цилиндричните заготовки на разстояние 0.5 мм от вложката. На един и същи режим са проведени по 2-3 опита. Завареното съединение е изпитано на опън. Върху лома на разрушения образец със сканиращ електронен микроскоп е проведен локален микроанализ. Подробно описание на методиката се съдържа в [6, 7].

Таблица 3 Режими на заваряване и якост на опън на съединенията [11]

Материал на съединенията	Режим на заваряване			Якост на опън, МПа
	Температура, °C	Налягане, МПа	Време, мин	
ВК15/Ni/Y8 ВК15/Ni/9XC	930	8	20	12 -210
ВК15/Ni/X12Ф1				0-386
ВК15/Ni/Y8 ВК15/Ni/9XC	930	16	5	14-195
ВК15/Ni/X12Ф1	930	16	10	0-367
ВК15/Ni/Y8 ВК15/Ni/9XC	930	16	20	8-277
ВК15/Ni/Y8 ВК15/Ni/9XC	1030	16	20	9-312
ВК15/Ni/X12Ф1				0-193
ВК15/Ni/Y8 ВК15/Ni/9XC	1030	16	5	7-213

3. РЕЗУЛТАТИ

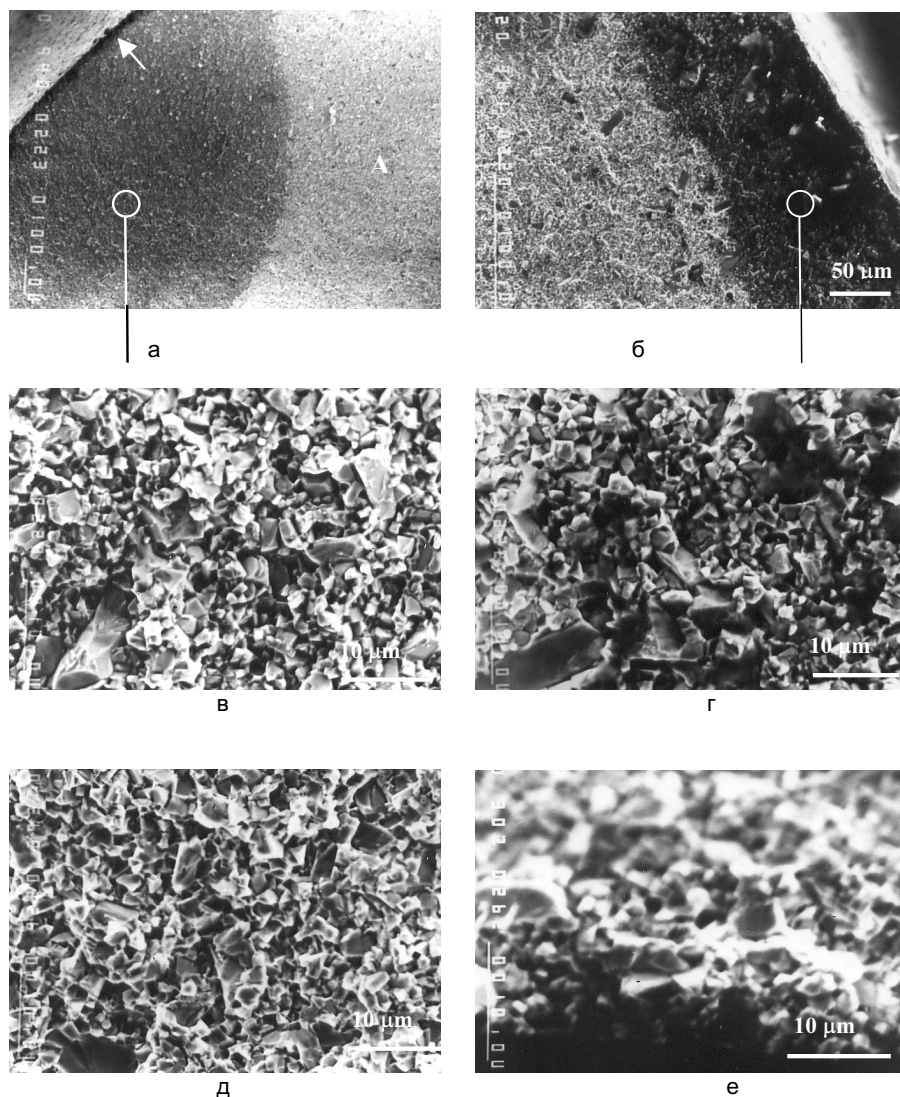
3.1. Якост на опън

Данните от табл. 3 показват, че якостта на опън на съединението е относително ниска. За образци, заварени на един и същи режим, липсва повтаряемост на якостта. Разрушаването протича през твърдосплавната пластина. Ломът е крехък. След заваряване по околната повърхност на пластината се появяват тъмни петна, установени и в предишни изследвания [6-8].

3.2. Микроструктура на заварените съединения

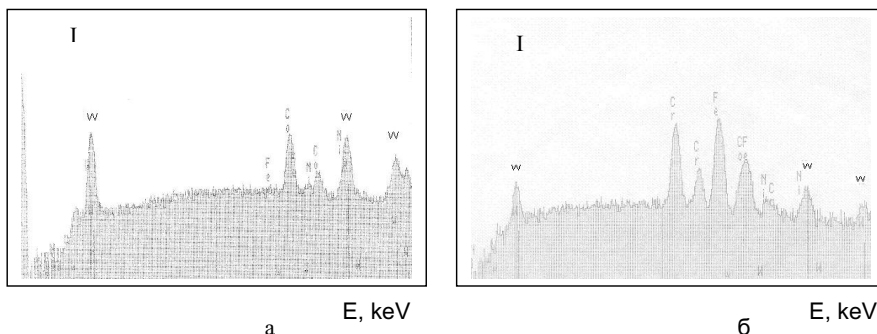
На фиг. 1, а е показан лом на образец ВК15/Ni/Y8, заварен на режим 930 °C/16 МПа/5 мин. По периферията му се очертава черна ивица, широка ~ 10 мкм, която в увеличение е представена на фиг. 1, б. От ивицата навътре се простира тъмно петно, което заема значителна част от повърхността на лома. Изследвана е микроструктурата в различни точки от тъмното петно и черната ивица, означени на фиг. 1, в и г. В тях Со-фаза, свързваща зърната от WC, липсва или са налице само следи от нея. В т. А от фиг. 1, а, циментиращата фаза, макар и в ограничено количество, обхваща части от зърната и придава светъл цвят на лома. За сравнение микроструктурата на твърдосплавна пластина в състояние преди заваряване е представена на фиг. 1, е. Ясно се разграничават мостчета от Со-връзка към всяко WC-зърно.

Характеристичните спектри, снети поотделно в точка от черната ивица, тъмната и светлата зона на фиг. 1, а, имат приблизително еднакъв вид, показан на фиг. 2, а. Ясно изразени са пиковите на W и Со. Те се различават по това, че в посока от периферията към вътрешността, т. е. от тъмната към светлата част на лома, височината на пиковите на Со нараства.



Фиг. 1 Лом на образец BK15/Ni/U8, заварен на режим 930 °C/16 МПа/5 мин: а) общ вид; б) тъмна ивица в периферията на образца; в) и г) микроструктура в означените участъци; д) микроструктура в т. А на фиг. 1, а; е) лом на пластина преди заваряване

По околната повърхност на пластината е установена евтектика, в чийто характеристичен спектър пиковите на Fe и Cr значително превишават тези на Co, а пикът на W е нисък. Следователно е налице обогатяване на повърхността с Fe и Cr. Подобни резултати са установени в [6-9].



Фиг. 2 Характеристични спектри в точка от образец, заварен на режим 930 °C/16 МПа/5 мин: а) черна ивица, тъмна и светла зона на фиг. 1, а; б) околна повърхност на твърдосплавната пластина

3.3. Анализ на резултатите

Тъмните петна, установени и по-рано по цилиндричната повърхност на пластината [6-9], черната ивица и петната по лома, са белези на едно и също изменение в структурата на сплавта. Различното оцветяване на лома се дължи на разлика в количеството на Со-фаза. Там, където тя е в недостиг или липсва, се получава тъмно или черно оцветяване, на което съответства по-ниска височина на Со-пик. Причина за понижаване количеството на Со-фаза може да бъде:

а) разтваряне на Со в евтектика с образуване на η -фаза - в интервала 1225 – 1370 °C в твърдата сплав се образуват две двойна и пет три тройни евтектики от типа γ +WC или γ + η +графит, в които γ е твърд разтвор на W и C в Со, а η -фаза е двоен карбид от типа W_3Co_3C , W_4Co_2C и др. [1, 2]. Фаза η се образува при ниска скорост на охлаждане и частично обезвъглеродяване от 6.12 % C до по-малко от 6.06 % C в интервала на кристализация при спичане [1].

б) изпарение на Со при заваряване във вакуум $5 \cdot 10^{-4}$ Па - спичането на твърдосплавни заготовки ВК15 и ВК20 във вакуум протича съответно при 1340 °C и 1360 °C и остатъчно налягане на газовата фаза 133-1330 Па. Част от Со - 4-6 %, се губи поради изпаряване. За покриване на загубите праховата смес съдържа излишък от 0.5 % Со [1]. При дифузионно заваряване остатъчното налягане е $5 \cdot 10^{-4}$ Па, т. е. то е ~ 25 000 пъти по-ниско от налягането при спичане и подпомага изпарението или сублимацията на Со.

в) окисляване на Со - източник на кислород е остатъчната газова фаза, както и остатъци от алуминати и силикати по повърхността на твърдосплавната пластина. Те се използват при спичане на твърдосплавните заготовки за засипване на шихтата от пресовки срещу обезвъглеродяване [1].

Загубите на Со-фаза се проявяват ясно при температура над 1225 °C, която се преминава в периферната зона на пластината поради прегряване. Доказателство за това са следите от стояване и последствията от него [6-9]. За предотвратяване на прегряването е необходима повишена хлабината между индуктора и детайлите [8]. Циментиращата Со-фаза ориентира зърната в пространството и придава якост и жилавост на сплавта. Затова намаляването на количеството ѝ е причина за разделяне на зърната, причиняващо окрежкостяване.

4. ИЗВОДИ

Прегряване в периферните слоеве на твърдосплавната пластина от тип BK15 предизвиква частично стопяване и изпарение на циментиращата Co-фаза. Външно тази промяна се изразява в потъмняване на пластината. Загубата на Co-връзка между зърната от WC обуславя ниска якост и крехкост на пластината, която се придава и на завареното съединение.

ЛИТЕРАТУРА

14. Третьяков, В. К. Металлокерамические твердые сплавы. М., Гос. Научно-техн. издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962 г.
15. Казаков, Н. Дифузионная сварка материалов, М., М-е, 1981.
16. Wiesner, P. Diffusionsschweißen von Hartmetallwerkzeugen. Sonderdruck aus DVS Berichte, Band 148.
17. Klaasen, H. и др. Diffusion- and sinterbonding processes to produce compound hardmetal parts. LÖT 2001, с. 1-4.
18. В Слухоцкий, А. и др. Индукторы для индукционного нагрева, Л., Энергия, 1974 г.
19. В Ямболиев, Т., Колева, В. Особенности при дифузионно заваряване на инструментални материали. Сб. докл. от межд. научна конф. "AMTEX 2005", т. 44, серия 2, ВТУ, Русе, 2005, с. 217-222.
20. Iamboliev, T., Valkanov, S. Behaviour of hard metal steel joint obtained under induction heating diffusion bonding. Proc. of the 1st South-East European Welding Congress Timisoara, Romania, May 24-26, 2006, p. 197-206.
21. Ямболиев, Т., Колева, В. Дефекти вследствие индукционно нагряване в съединение твърда сплав – стомана. Юб. научна конф. ' 2006, Сб. научни тр., ТУ София, ф-л Пловдив, том 13, с. 75-80.
22. Ямболиев, Т. Влияние на индукционното нагряване върху свойствата на съединение твърда сплав – стомана /под печат/.
23. Марочник сталей и сплавов, под ред. Зубченко, А. С., М., Машиностроение, 2001.

Благодарност

Авторът благодари на инж. В. Колева и н. с. С. Вълканов за оказаното съдействие при провеждане на изследването.

За контакти:

Доц. д-р инж. Теофил Ямболиев, катедра "Машиностроителна техника и технологии", ТУ София, филиал Пловдив, тел.: 032-659 622, E-mail: tiamb@tu-plovdiv.bg

Докладът е рецензиран.