

Машинно-технологичен факултет

ВЛИЯНИЕ НА КРИОГЕННАТА ОБРАБОТКА ВЪРХУ МЕХАНИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА ТЕРМИЧНО УЯКЧАЕМИ АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ

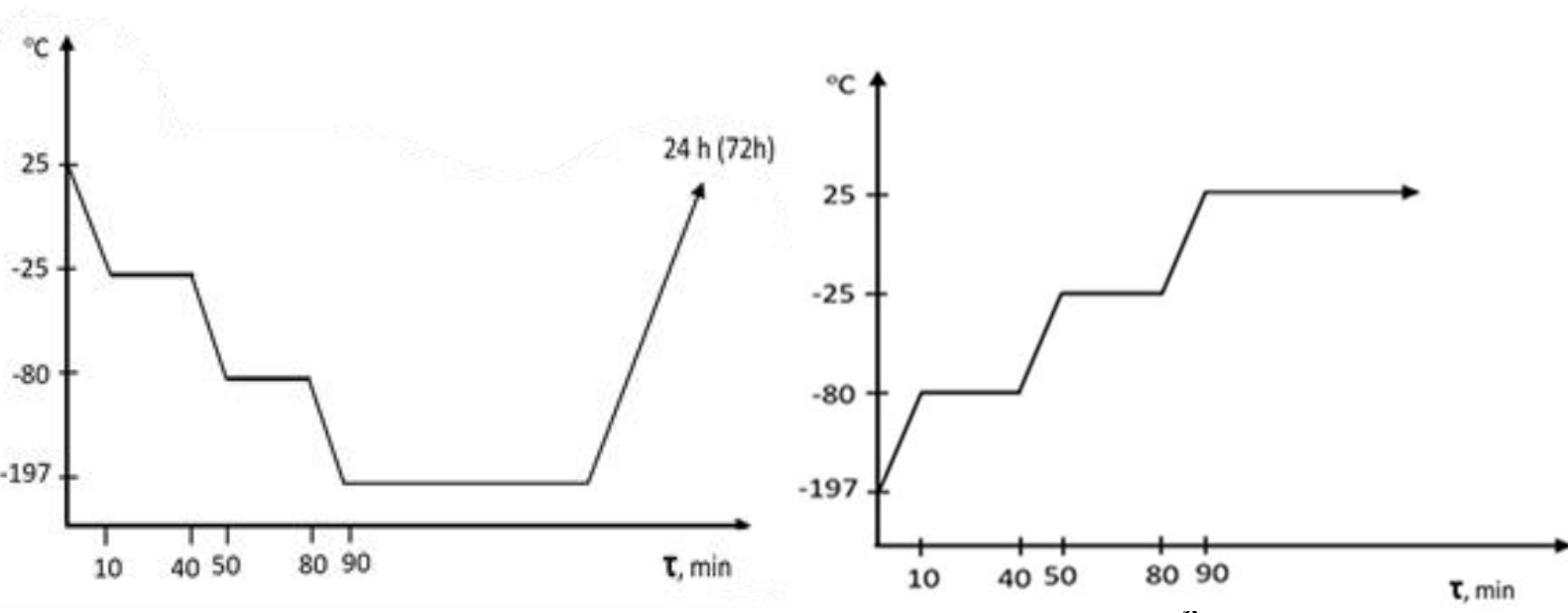
Ръководител на проекта: доц. д-р инж. Даниела Спасова, кат. МТМ

Участници: проф. д-р инж. Стоян Славов - кат. ТМММ, доц. д-р инж. Диян Димитров - кат. ММЕ, доц. д-р инж. Зоя Цонева - кат. ММЕ, доц. д-р инж. Пламен Петров - кат. МТМ, доц. д-р инж. Николай Атанасов - хон. преп., кат. МТМ, доц. д-р инж. Александрина Банкова - кат. ММЕ, гл. ас. д-р инж. Десислава Минчева - кат. МТМ, МТФ

ас. инж. Пламен Стоянов – докторант в кат. МТМ, гл. ас. д-р инж. Радостина Янкова - кат. МТМ, инж. Людмил Чолаков – докторант в кат. МТМ, инж. Илиян Иванов – докторант в кат. МТМ, Мирослав Маринов - студент, спец. МТТ, Меслин Басриев - студент, спец. МТТ, Никола Стефанов - студент, спец. МТТ, Мартин Недялков - студент, спец. МТТ

Въведение

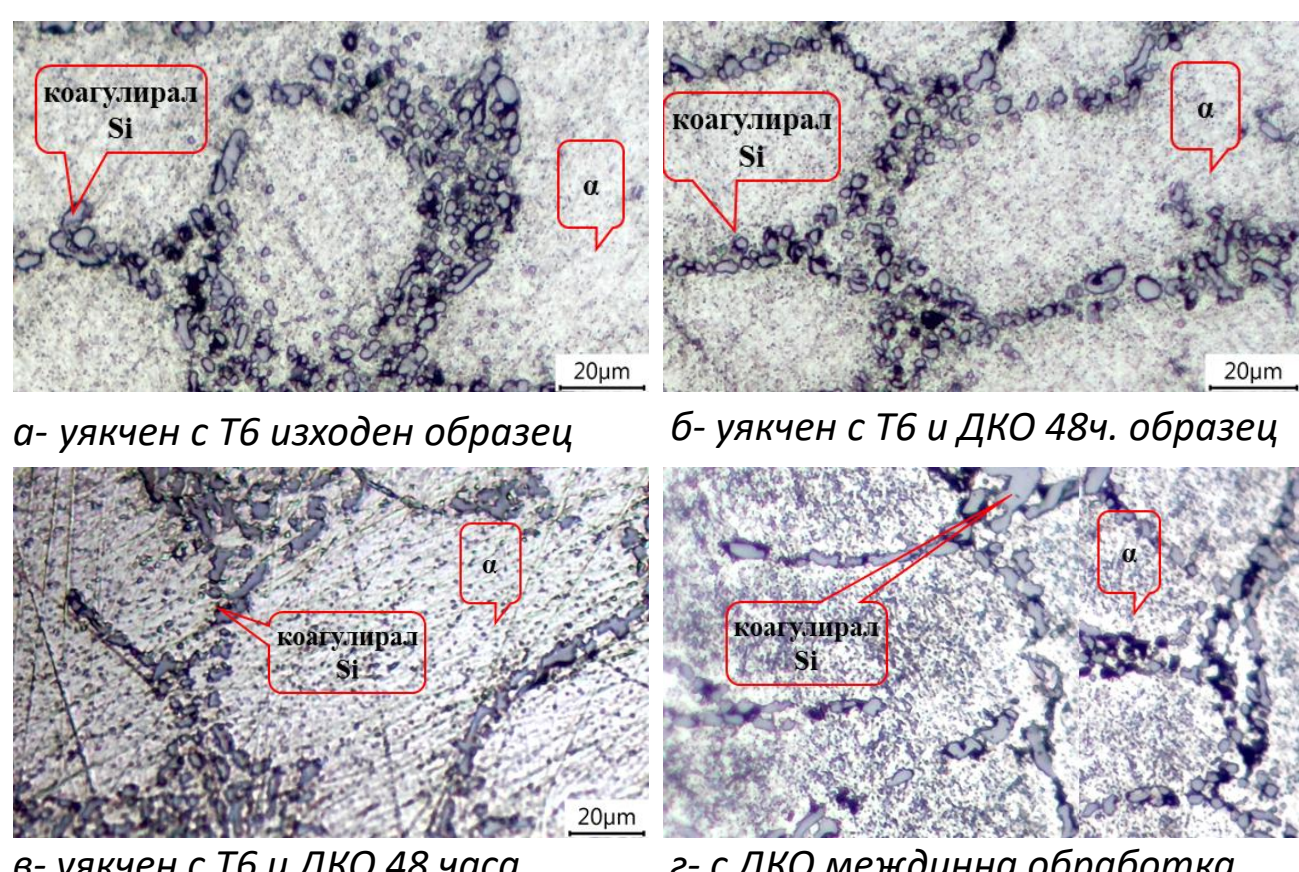
Нарастващите изисквания към експлоатационните и механичните свойства на алуминиевите сплави налагат използването на усъвършенствани методи за обработка, целящи оптимизация на тяхната структура и характеристики. В този контекст дълбоката криогенна обработка (ДКО) се явява перспективна алтернатива на традиционните методи за термична обработка. Когато параметрите на ДКО са избрани по подходящ начин, свръх ниската температура (-197 °C, фиг.1) може да доведе до предпочитана ориентация на зърната, увеличаване на плътността на дислокациите, и оптимизиране на разпределението на вторичната фаза на алуминиевите сплави. Освен това механичните свойства, остатъчните напрежения, уморната дълготрайност, устойчивостта на корозия, устойчивостта на износване и електрическата проводимост на алуминиевите сплави могат да бъдат значително подобрени поради различните промени в микроструктурата, получени след ДКО. Настоящата работа обобщава механизмите на влиянието на ДКО върху промените в структурата и механичните характеристики на термично уякчаеми алуминиеви сплави - леярска сплав AlSi7Mg с режим на термична обработка Т6 и деформируема сплав AlSiMgMn (6082) с режим на термична обработка Т651.



Фигура 1. Циклограми на : а – Режим на ДКО; б – процес на темперирание

Стойности на механичните характеристики, след изпитване на опън и измерване на твърдост на сплав AlSi7Mg

Обработка на образеца	F_m N	R_m MPa	R_{mcp} MPa	A %	Acp %	Твърдост HV1	Твърдост HV1 средно
AlSi7Mg	Закален с режим Т6	11150	222	5,35	5,74	91	93
	изходен	11300	225	6,1	87	89	
	11350	226	6,1	89	87	89	
	Закален с режим Т6 + ДКО 24h	13060	260	6,91	6,94	106	107
	изходен	12810	255	6,57	107	107	
	12760	254	7,34	108	108	108	
	Закален с режим Т6 + 48h ДКО	12510	249	8,2	106	106	104
	изходен	12210	243	8	9,1	103	
	12260	244	7,91	103	103	103	
	Закаляване + 24h ДКО + стареене	11860	236	6,02	100	98	99
	изходен	12060	240	5,73	9,93	98	
	11960	238	5,9	99	99	99	



Фигура 2. Микроструктури на сплав AlSi7Mg x400

От проведенният рентгеноструктурен фазов анализ, е установено, че след ДКО интегралната площ на дифракционната линия на пиковите се повишава, което доказва повишаването на плътността на дислокациите, водеща до повишаване на стойностите на механичните характеристики.

Заклучение

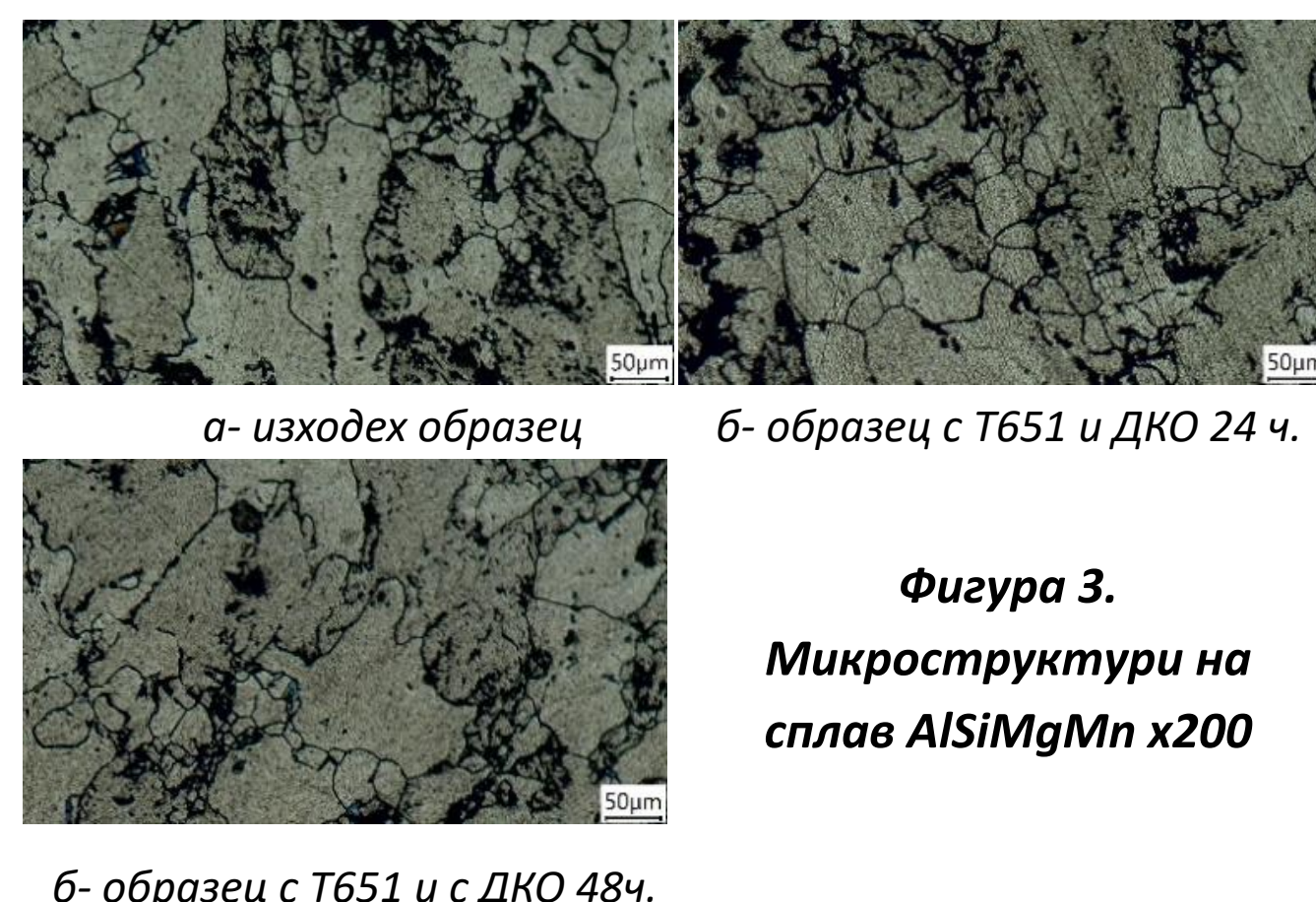
Разработен е иновативен, екологично чист и икономически обоснован технологичен процес на ДКО, който води до допълнително повишаване на механичните характеристики на предварително уякчени алуминиеви сплави AlSi7Mg и AlSiMgMn. За леярски сплави от типа AlSi7Mg се отчита повишаване на якост и твърдост без загуба на пластичност, докато при деформируеми сплави от системата AlSiMgMn ефектите са насочени основно към подобряване на пластичността при запазване на якостта и твърдостта.

Резултати

Обработените чрез ДКО образци от алуминиеви сплави AlSi7Mg и AlSi1MgMn (6082) са подложени на механични изпитвания и е анализирано влиянието на ДКО върху техните механични свойства (твърдостта, якост на опън). За да се изяснят структурните промени са проведени микроструктурен и рентгеноструктурен фазов анализ.

Стойности на механичните характеристики, след изпитване на якост на опън и измерване на твърдост на сплав AlSi7Mg (6082)

Обработка на образеца	F_m N	R_m MPa	R_{mcp} MPa	A %	Acp %	Твърдост HV1	Твърдост HV1 Средно
AlSi7Mg (6082)	Изходен, закален с режим Т651	14800	293	1,82	1,68	96	95
	изходен	15000	289	1,75	94	94	
	15000	289	1,74	95	95	95	
	Закален с режим Т651 + 24h ДКО	15280	305	8,94	9,01	105	103
	изходен	15200	301	9,01	102	102	
	15250	302	9,14	102	102	102	
	Закален с режим Т651 + 48h ДКО	15180	298	8,57	9,76	98	99
	изходен	15180	298	9,76	9,24	99	
	15170	297	9,40	99	99	99	



Фигура 3. Микроструктури на сплав AlSiMgMn x200

- От получените резултати за сплав AlSi7Mg се вижда, че ДКО влияе положително, относно повишаването на якостните механични характеристики при всички изследвани режими. След 24 ч. ДКО R_m се повишава средно с 32 МПа, а твърдостта с 14 единици. След 48 ч. ДКО повишаването на якостта е по-слабо изразено - средно с 21 МПа, както и твърдостта, а в случая, когато ДКО е междинна обработка повишаването и на двете механични характеристики е най-ниско.
- При сплав 6082 ДКО оказва значително влияние върху пластичността на материала (относителното удължение A, %). A се повишава с 8% след 48 часа ДКО и около 7% след 24 часа ДКО. Отчетеното завишение е в пъти повече, в сравнение със термично уякчаема сплав AlSi7Mg, но за разлика от нея при сплав AlSiMgMn якостните механични характеристики не се повишават така осезаемо след ДКО.
- Проведеният микроструктурен анализ на сплав AlSi7Mg установява, че след провеждане на ДКО, останалите малки количества евтектична смес след ТО се доразпадат, като фрагментите на отделилия се коагулирал Si уеднаквяват размерите си, стават под-дисперсни и се разпределят равномерно около α -твърдия разтвор, което води до повишаване на якостните механични характеристики. При сплав 6082 с нарастване на продължителността на ДКО фазите на α -Al стават по-изразени и по-светли, вследствие обедняването на разтворените в него елементи от свиването на кристалната мрежа след ДКО, което обяснява повишаването на пластичността

Публикации по проекта

- Stoyanov, P., & Spasova, D. (2026, April). Influence of Deep Cryogenic Treatment on the Mechanical and Plastic Properties of AlMg4. 5 Aluminium Alloy. In Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences (Vol. 79, No. 4, pp. 461-467).
- Dimitrov D., Spasova D., Stoyanov P. Correlating Mechanical Properties in Al-Mg Alloys: A Functional Model for Elongation Prediction After Cryogenic Processing and Work Hardening - подадена в "International Journal Of Modern Manufacturing Technologies"
- SPASOVA, D., & STOYANOV, P. Effect of Diamond Burnishing Process Parameters on the Surface Properties of AlMn1 Aluminum Alloy. NDT DAYS, 233.