International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)
E-ISSN: 2582-2160 ● Website: www.ijfmr.com ● Email: editor@ijfmr.com

డీప్ క్రయోజెనిక్ ట్రీట్‌మెంట్ పొందిన 6061-T6 అల్యూమినియం మిశ్రమంలో కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల కరుకుదనం యొక్క యాంత్రిక లక్షణాల విశ్లేషణ

ఎం. బాల తేజ[1], జి. ప్రభాకర రావు[2], కె. హేమచంద్ర రెడ్డి[3]

[1]అసోసియేట్ ప్రొఫెసర్, మెకానికల్ ఇంజినీరింగ్ విభాగం, శాంతిరామ్ ఇంజినీరింగ్ కళాశాల, నంద్యాల, ఆంధ్రప్రదేశ్.

[2]ప్రొఫెసర్, అన్నమాచార్య ఇన్‌స్టిట్యూట్ ఆఫ్ టెక్నాలజీ అండ్ సైన్సెస్, రాజంపేట

[3]ప్రొఫెసర్, జేఎన్‌టీయూఏ, అనంతపురం

అనువాదం మరియు తెలుగు రూపకల్పన: డా. ఎం. బాల తేజ

సారాంశం

అల్యూమినియం మరియు దాని మిశ్రమాలు తక్కువ బరువు, అధిక బలం, మంచి తుప్పు నిరోధకత మరియు పునర్వినియోగ సామర్థ్యం కారణంగా అనేక పారిశ్రామిక రంగాలలో విస్తృతంగా ఉపయోగించబడుతున్నాయి. ముఖ్యంగా 6061 అల్యూమినియం మిశ్రమం యాంత్రిక, ఆటోమొబైల్, విమాన మరియు నిర్మాణ రంగాలలో ప్రముఖ స్థానాన్ని సంపాదించింది. అయితే యాంత్రిక భాగాల పనితీరులో ధరించడం (Wear) ఒక ప్రధాన సమస్యగా నిలుస్తుంది.ధరింపును తగ్గించేందుకు మరియు పదార్థ సేవా జీవితాన్ని పెంచేందుకు కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల నాణ్యతను మెరుగుపరచడం అవసరం. ఈ లక్ష్యంతో ఈ పరిశోధనలో సంప్రదాయ T6 ఉష్ణ చికిత్సతో పాటు మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్సను కూడా అమలు చేశారు. వివిధ చికిత్స పరామితుల వద్ద కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల కరుకుదనంలో వచ్చే మార్పులను అధ్యయనం చేశారు.ప్రయోగ ఫలితాలు క్రయోజెనిక్ చికిత్స వలన కాఠిన్యం మెరుగుపడటం, ఉపరితల కరుకుదనం తగ్గడం మరియు పదార్థ సూక్ష్మ నిర్మాణంలో అనుకూల మార్పులు సంభవించడం చూపించాయి. ఈ పరిశోధన ద్వారా 6061-T6 అల్యూమినియం మిశ్రమానికి అనువైన చికిత్స పరిస్థితులను గుర్తించారు.

కీలక పదాలు

క్రయోజెనిక్ చికిత్స, కృత్రిమ వృద్ధాప్యం, ఏజ్ హార్డెనబుల్ మిశ్రమం, ఏజింగ్, సొల్యూషనైజింగ్, T6 చికిత్స

1. పరిచయం

అల్యూమినియం భూమిపై అత్యధికంగా లభించే లోహాలలో ఒకటి. ఇనుము తర్వాత ప్రపంచవ్యాప్తంగా అత్యధికంగా ఉపయోగించబడే లోహం కూడా ఇదే. తక్కువ బరువు, అధిక బలం మరియు మంచి తుప్పు నిరోధకత కారణంగా విమాన, ఆటోమొబైల్, అంతరిక్ష, సముద్ర మరియు నిర్మాణ రంగాలలో విస్తృతంగా ఉపయోగించబడుతోంది.

అయితే అల్యూమినియం యాంత్రిక భాగాలలో ధరించడం (Wear) ప్రధాన సమస్యగా ఉంటుంది. ఈ ధరింపును తగ్గించడానికి కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల నాణ్యతను మెరుగుపరచడం అత్యంత అవసరం. అందువల్ల పరిశోధకులు క్రయోజెనిక్ చికిత్స వంటి ఆధునిక ప్రక్రియలను అధ్యయనం చేస్తున్నారు.

మార్షల్ స్పేస్ ఫ్లైట్ సెంటర్ (MSFC) నిర్వహించిన పరిశోధనలలో క్రయోజెనిక్ చికిత్స అల్యూమినియం మిశ్రమాల మిగిలిన ఒత్తిళ్లు, కాఠిన్యం, స్థితిస్థాపకత మరియు సేవా జీవితాన్ని మెరుగుపరుస్తుందని నిరూపితమైంది. అదనంగా ధరింపును తగ్గించడం మరియు ఉపరితల నాణ్యతను పెంచడం వంటి ప్రయోజనాలు కూడా గుర్తించబడ్డాయి.

ప్రస్తుత పరిశోధనలో 6061-T6 అల్యూమినియం మిశ్రమంపై T6 ఉష్ణ చికిత్స మరియు మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్సల ప్రభావాన్ని పరిశీలించి కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల కరుకుదనంలో వచ్చిన మార్పులను విశ్లేషించారు.

2. పదార్థాలు మరియు ప్రయోగ విధానం

2.1 పదార్థం (Material)

ఈ పరిశోధనలో ఉపయోగించిన పదార్థం 6061 అల్యూమినియం మిశ్రమం. ఇది సుమారు 2.8 g/cm^3 సాంద్రత కలిగిన అధిక నాణ్యత గల అల్యూమినియం మిశ్రమం. తక్కువ బరువు, మంచి యాంత్రిక బలం మరియు తుప్పు నిరోధక లక్షణాల కారణంగా ఇది అనేక పారిశ్రామిక రంగాలలో విస్తృతంగా ఉపయోగించబడుతోంది.

6061 అల్యూమినియం మిశ్రమం క్రింది రంగాలలో వినియోగించబడుతుంది:

- విమాన పరిశ్రమ
- ఆటోమొబైల్ పరిశ్రమ
- సముద్ర యాన నిర్మాణాలు
- క్రీడా పరికరాలు
- భారీ యాంత్రిక నిర్మాణాలు
- జలవిద్యుత్ పరికరాలు
- సాధారణ యాంత్రిక భాగాలు

ఈ మిశ్రమంలో ప్రధానంగా మెగ్నీషియం మరియు సిలికాన్ ఉంటాయి. అదనంగా కాపర్, క్రోమియం, మాంగనీస్ మరియు టైటానియం వంటి మూలకాలు స్వల్ప పరిమాణంలో కలిగి ఉంటాయి.

ప్రయోగం కోసం 18 × 16 × 14 మి.మీ. పరిమాణాలలో నమూనాలను తయారు చేశారు.

చిత్రం–1 : ప్రయోగ నమూనాలు

2.2 ప్రయోగ పద్ధతి (Method)

ఈ పరిశోధనలో రెండు రకాల చికిత్సలను నిర్వహించారు:

1. సంప్రదాయ T6 ఉష్ణ చికిత్స
2. మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్స

ఈ రెండు చికిత్సల ప్రభావాన్ని కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల కరుకుదనంపై అధ్యయనం చేశారు. ముఖ్యంగా ధరింపు నిరోధకతను మెరుగుపరచడంలో ఈ చికిత్సల పాత్రను పరిశీలించారు.

A. T6 చికిత్స (T6 Treatment)

విమాన మరియు యాంత్రిక పరిశ్రమలలో 6061 అల్యూమినియం మిశ్రమాన్ని సాధారణంగా T6 స్థితిలో ఉపయోగిస్తారు. ఈ స్థితి అత్యుత్తమ యాంత్రిక లక్షణాలను అందిస్తుంది.

T6 చికిత్స రెండు దశల్లో నిర్వహించబడుతుంది:

1. సొల్యూషనైజింగ్ (Solutionizing)

ఈ దశలో నమూనాలను 465°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద వేడి చేశారు.

సొల్యూషనైజింగ్ సమయాలు:

- 1 గంట
- 2 గంటలు
- 3 గంటలు

ఈ ప్రక్రియలో మిశ్రమ మూలకాలు ఘన ద్రావణంలో సమానంగా పంపిణీ అవుతాయి.

2. కృత్రిమ వృద్ధాప్యం (Artificial Aging)

సొల్యూషనైజింగ్ అనంతరం నమూనాలను నీటిలో చల్లబరిచారు.

తరువాత:

- 120°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద
- 20 గంటలపాటు

ఏజింగ్ నిర్వహించారు.

ఈ ప్రక్రియ వల్ల సూక్ష్మ అవక్షేపాలు (precipitates) ఏర్పడి పదార్థ కాఠిన్యం మరియు బలం పెరుగుతాయి.

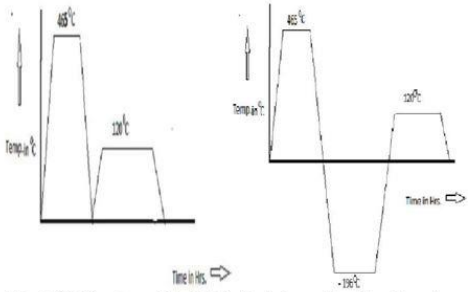

Fig. 2. T6 Treatment Fig.3.Solutionizing + Cry. Treatment + Aging

చిత్రం–2 : T6 చికిత్స విధానం

సొల్యూషనైజింగ్ → క్వెంచింగ్ → ఏజింగ్

B. క్రయోజెనిక్ చికిత్స (Cryogenic Treatment)

క్రయోజెనిక్ చికిత్స అనేది అత్యల్ప ఉష్ణోగ్రతల వద్ద నిర్వహించే ప్రత్యేక ఉష్ణ చికిత్స.

123 K కంటే తక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఈ చికిత్స జరుగుతుంది.

ఈ పరిశోధనలో:

- ద్రవ నైట్రోజన్ ఉపయోగించారు
- ఉష్ణోగ్రత : −196°C
- చికిత్స సమయం : 12 గంటలు

T6 చికిత్సలో సొల్యూషనైజింగ్ మరియు ఏజింగ్ మధ్యలో క్రయోజెనిక్ చికిత్స నిర్వహించారు.

చికిత్స క్రమం:

సొల్యూషనైజింగ్ → క్రయోజెనిక్ చికిత్స → ఏజింగ్

క్రయోజెనిక్ చికిత్స వలన:

- అంతర్గత లోపాలు తగ్గుతాయి
- అవశేష ఒత్తిళ్లు తగ్గుతాయి

- సూక్ష్మ నిర్మాణం మెరుగుపడుతుంది
- కాఠిన్యం పెరుగుతుంది
- ధరింపు నిరోధకత మెరుగుపడుతుంది

2.3 కొలతలు (Measurements)

ప్రయోగం పూర్తయిన తరువాత నమూనాలను పరీక్షించి కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల కరుకుదనాన్ని కొలిచారు.

A. కాఠిన్యం (Hardness Test)

ASTM E10 ప్రమాణాలకు అనుగుణంగా బ్రినెల్ హార్డ్‌నెస్ టెస్టర్ ఉపయోగించారు.

ప్రతి నమూనాపై మూడు వేర్వేరు స్థానాలలో కొలతలు తీసి వాటి సగటును నమోదు చేశారు.

B. ఉపరితల కరుకుదనం (Surface Roughness)

Mitutoyo Surf Test SJ–201P పరికరాన్ని ఉపయోగించి ఉపరితల కరుకుదనాన్ని కొలిచారు.

ప్రతి నమూనాపై అనేక స్థానాలలో కొలతలు తీసి వాటి సగటు విలువను ఉపయోగించారు.

ఈ రెండు పరీక్షల ఫలితాల ఆధారంగా T6 మరియు క్రయోజెనిక్ చికిత్సల ప్రభావాన్ని విశ్లేషించారు.

3. ఫలితాలు మరియు చర్చ (Results and Discussion)

ప్రతి చికిత్సా పరిస్థితికి మూడు నమూనాలపై ప్రయోగాలు నిర్వహించబడ్డాయి. కాఠిన్యం (BHN) మరియు ఉపరితల కరుకుదనం (Ra) విలువలను కొలిచి వాటి సగటును లెక్కించారు.

3.1 T6 చికిత్స ప్రభావం

T6 చికిత్స అనంతరం పొందిన ఫలితాల ప్రకారం, సొల్యూషనైజింగ్ సమయం కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల నాణ్యతపై గణనీయమైన ప్రభావాన్ని చూపింది.

కాఠిన్యం (Hardness)

- 1 గంట సొల్యూషనైజింగ్ తరువాత కాఠిన్యంలో స్వల్ప తగ్గుదల నమోదైంది.
- 2 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ వద్ద కాఠిన్యంలో అత్యధిక మార్పు కనిపించింది.
- 3 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ తరువాత మార్పు తక్కువగా నమోదైంది.

ఉపరితల కరుకుదనం (Surface Roughness)

- అన్ని నమూనాలలో ఉపరితల కరుకుదనం తగ్గింది.
- 2 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ సమయంలో ఉపరితల కరుకుదనం అత్యధికంగా తగ్గింది.
- దీని వల్ల ఉపరితల నాణ్యత మెరుగుపడినట్లు నిర్ధారించబడింది.

అందువల్ల T6 చికిత్సలో 2 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ సమయం ఉత్తమ ఫలితాలను అందించింది.

3.2 మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్స ప్రభావం

క్రయోజెనిక్ చికిత్స అనంతరం కాఠిన్యం పెరిగినట్లు మరియు ఉపరితల కరుకుదనం తగ్గినట్లు గుర్తించారు.

కాఠిన్యం

- 1 గంట సొల్యూషనైజింగ్ తరువాత కాఠిన్యంలో అత్యధిక పెరుగుదల నమోదైంది.
- 2 గంటల వద్ద పెరుగుదల కొంత తగ్గింది.
- 3 గంటల వద్ద పెరుగుదల మరింత తగ్గింది.

క్రయోజెనిక్ చికిత్స వలన సూక్ష్మ నిర్మాణంలో మార్పులు సంభవించి కాఠిన్యం మెరుగుపడినట్లు అర్థమవుతుంది.

ఉపరితల కరుకుదనం

- అన్ని నమూనాలలో ఉపరితల కరుకుదనం తగ్గింది.
- 1 గంట సొల్యూషనైజింగ్ నమూనాలలో అత్యుత్తమ ఉపరితల నాణ్యత లభించింది.
- సొల్యూషనైజింగ్ సమయం పెరిగే కొద్దీ ఉపరితల మెరుగుదల తగ్గినట్లు గమనించారు.

ఫలితాల విశ్లేషణ

పట్టిక 1 : T6 చికిత్స ఫలితాలు

సొల్యూషనైజింగ్ సమయం (గం.)	ఏజింగ్ (గం.)	కాఠిన్యం (BHN) ముందు	కాఠిన్యం (BHN) తర్వాత	% మార్పు	ఉపరితల కరుకుదనం (Ra) ముందు	ఉపరితల కరుకుదనం (Ra) తర్వాత	% మార్పు
1	20	70.3	70.0	-0.27	1.08	0.47	-49
2	20	74.0	69.6	-4.2	0.75	0.57	-51
3	20	74.0	71.3	-2.2	0.74	0.65	-9.7

పట్టిక 2 : సొల్యూషనైజింగ్ + క్రయోజెనిక్ చికిత్స + ఏజింగ్ ఫలితాలు

సొల్యూషనైజింగ్ సమయం (గం.)	క్రయోజెనిక్ చికిత్స (గం.)	ఏజింగ్ (గం.)	కాఠిన్యం (BHN) ముందు	కాఠిన్యం (BHN) తర్వాత	% మార్పు	ఉపరితల కరుకుదనం (Ra) ముందు	ఉపరితల కరుకుదనం (Ra) తర్వాత	% మార్పు
1	12	20	70.3	74.0	4.3	0.85	0.65	-49.45
2	12	20	70.0	73.3	3.1	0.54	0.64	-41.9
3	12	20	74.0	75.0	0.2	0.97	0.40	

క్రయోజెనిక్ చికిత్స సమయంలో నమూనాలను −196°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద ద్రవ నైట్రోజన్‌లో ఉంచడం వల్ల:

- అంతర్గత సూక్ష్మ రంధ్రాలు తగ్గాయి.
- అవశేష ఒత్తిళ్లు తగ్గాయి.
- ధాన్య నిర్మాణం (Grain Structure) మరింత సున్నితంగా మారింది.
- సూక్ష్మ అవక్షేపాల పంపిణీ మెరుగుపడింది.
- ధరింపు నిరోధకత పెరిగింది.

ఈ కారణాల వల్ల కాఠిన్యం పెరిగి ఉపరితల కరుకుదనం తగ్గింది.

గ్రాఫ్‌ల విశ్లేషణ ప్రకారం:

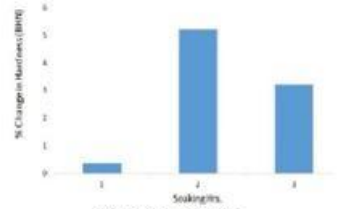

Fig.4.T6-Effect on Hardness

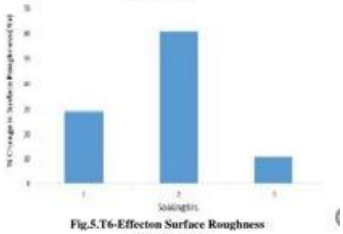

Fig.5.T6-Effecton Surface Roughness

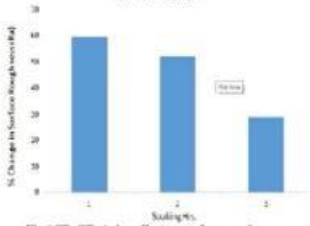

Fig.6.ST+CT+Aging effect on surface roughness

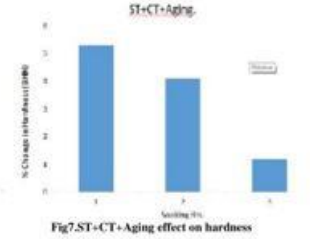

Fig7.ST+CT+Aging effect on hardness

- T6 చికిత్సలో 2 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ ఉత్తమ పరిస్థితి.
- క్రయోజెనిక్ చికిత్సలో 1 గంట సొల్యూషనైజింగ్ ఉత్తమ పరిస్థితి.

ముగింపులు (Conclusions)

ఈ పరిశోధన ఆధారంగా క్రింది నిర్ణయాలు తీసుకోబడ్డాయి:

1. సాధారణ T6 చికిత్సలో పదార్థ కాఠిన్యం కొంత మేర తగ్గింది.
2. మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్స వల్ల కాఠిన్యం పెరిగింది.
3. రెండు చికిత్సలూ ఉపరితల కరుకుదనాన్ని తగ్గించాయి.
4. T6 చికిత్సలో 2 గంటల సొల్యూషనైజింగ్ సమయంలో ఉత్తమ కాఠిన్యం మరియు ఉపరితల నాణ్యత లభించింది.
5. మధ్యస్థ క్రయోజెనిక్ చికిత్సలో 1 గంట సొల్యూషనైజింగ్ సమయంలో ఉత్తమ ఫలితాలు లభించాయి.
6. క్రయోజెనిక్ చికిత్స పొందిన నమూనాలు సాధారణ T6 నమూనాల కంటే మెరుగైన యాంత్రిక లక్షణాలను ప్రదర్శించాయి.

7. క్రయోజెనిక్ చికిత్స కాఠిన్యాన్ని పెంచి ఉపరితల కరుకుదనాన్ని తగ్గించడం ద్వారా ధరింపు నిరోధకతను మెరుగుపరుస్తుంది.

8. 6061-T6 అల్యూమినియం మిశ్రమాల పనితీరును మెరుగుపరచడానికి క్రయోజెనిక్ చికిత్స ఒక సమర్థవంతమైన ప్రక్రియగా నిరూపితమైంది.

గమనిక: మూల ప్రచురణ వివరాలు

ఈ వ్యాసం రచయితలచే గతంలో ఆంగ్ల భాషలో ప్రచురించబడిన పరిశోధనా వ్యాసానికి తెలుగు అనువాద మరియు అకాడమిక్ రూపాంతర రూపం. మూల పరిశోధనలో పొందిన ఫలితాలు, పట్టికలు, చిత్రాలు మరియు సూచనలు యథాతథంగా కొనసాగించబడ్డాయి. ఈ తెలుగు రూపాంతరం యొక్క ఉద్దేశ్యం పరిశోధన ఫలితాలను తెలుగు భాషా పాఠకులకు అందుబాటులోకి తీసుకురావడం.

మూల ఆంగ్ల వ్యాసం:

M. Bala Theja, G. Prabhakara Rao and K. Hemachandra Reddy,
Mechanical Characterization of Hardness and Surface Roughness for Deep Cryo Treated 6061-T6 Aluminium Alloy,
International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE),
Volume 6, Issue 4, April 2018.

తెలుగు అనువాదం మరియు అకాడమిక్ రూపాంతరం:

డా. ఎం. బాల తేజ

సూచనలు (References)

పరిశోధనా పత్రాలలో సాధారణంగా References ను అనువదించరు. కాబట్టి మూల పత్రంలో ఉన్నట్లుగానే ఇంగ్లీషులో ఉంచాలి

[1] Pavan K.M., Sachin L.S., Mayur S., Chandrashekar, A.B.S., Ajay Kumar, “Effect of Cryogenic Treatment on the Mechanical and Microstructural Properties of Aluminium Alloys – A Brief Study”, International Journal of Mechanical and Production Engineering, ISSN: 2320-2092, Volume-2, Issue-5, May-2014.

[2] Stankowiak, A.W., Bydalski, “The Optimization of the Cryogenic Processing Al-Cu Alloys”, Archives of Foundry Engineering, Volume 7, Issue 3, 2007, pp.141–146.

[3] Po Chen, Tina Malkoe, Pablo Torres, “Effects of Cryogenic Treatment on the Residual Stress and Mechanical Properties of an Aerospace Aluminium Alloy”, 5th Conference on Aerospace Materials, Processes and Environmental Technology, 2002.

[4] Jasim M. Salman, Shaymaa Abbas AbdAlsada, Khadim F. Al-Sultani, "Improvement Properties of 7075-T6 Aluminium Alloy by Quenching in 30% Polyethylene Glycol and Addition 0.1%B", Research Journal of Material Sciences, Vol.1(6), 12–17, July 2013.
[5] K.E. Lulay, K. Khan, D. Chavaya, "The Effect of Cryogenic Treatment on 7075 Aluminum Alloy", Engineering Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 11(5), October 2002.
[6] P. Baldissera, C. Delprete, "Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review", The Open Mechanical Engineering Journal, 2008, 2, 1–11.
[7] Girisha H.N., K.V. Sharma, "Influence of Process Parameters on the Mechanical Properties of Heat Treated Aluminium Copper Magnesium Alloy", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.2, Issue 1, January 2013.
[8] Li Jin-Feng, Peng Zhao-Wei, Li Chao-Xing, Jia Zhi-Qiang, Chen Wen-Jiang, Zheng Zi-Qiao, "Mechanical Properties, Corrosion Behaviours and Microstructures of 7075 Aluminium Alloy with Various Aging Treatments", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 18(2008), 755–765.
[9] Evren Tanl, A.D. Ogel, "Influence of Heat Treatment on the Mechanical Properties of AA 6066 Alloy", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 31 (2007), 53–60.
[10] C.L. Gogte, Ajay Likhite, Dilip Peshwe, Aniruddha Bhokarkar, Rahul Shelly, "Effect of Cryogenic Processing on Surface Roughness of Age Hardenable AA6061 Alloy", Materials and Manufacturing Processes, 29, 710–714, 2014.
[11] G. Sival, B. Rivolta, R. Gerosa, U. Deradis, "Study of the SCC Behaviour of 7075 Aluminium Alloy After One-Step Aging at 163°C", Journal of Materials Engineering and Performance, 25th April 2012.
[12] D.D. Risanti, M. Vin B., P.E. Rivera Diazdel Castillo, S. Van der Zwaag, "A Systematic Study of the Effect of Interrupted Aging Conditions on the Strength and Toughness Development of AA6061", Materials Science and Engineering A 523 (2009), 99–111.
[13] Nasser Afify, Abdel-Fattah Gaber, Ghada Abbady, "Fine Scale Precipitates in Al-Mg-Zn Alloys After Various Aging Temperatures", Materials Sciences and Applications, 2011, 2, 427–434.
[14] Richard N. Wurzbach, William DeFelice, "Improving Component Wear Performance Through Cryogenic Treatment", Maintenance Reliability Group, Brogue, Pennsylvania.