

بال اسکرو و انواع آن

مقدمه:

بال اسکرو شامل یک اسپیندل پیچی و یک مهره است و بواسطه تعدادی ساچمه که بین پیچ و مهره قرار میگیرند یک سیستم یکپارچه انتقال قدرت با حداقل لقی و راندمان بالا را تشکیل میدهند. وظیفه اصلی بال اسکرو تبدیل حرکت دورانی به حرکت خطی یا گشتاور به نیرو و بالعکس، با دقت، راندمان و بازگشت پذیری بالا میباشد. سازندگان بال اسکرو با استفاده از فرایندهای ساخت و کنترل دقیق از طریق عملیات سنگزنی یا نورد اقدام به تولید بال اسکرو با دقت پروفیل شیار بالا مینمایند. همچنین اعمال عملیات حرارتی دقیق منجر به سختی مطلوب، ظرفیت تحمل بار و عمر بالای بال اسکروهای تولیدی میگردد. بال اسکروهای دقیق و سنگ خورده حرکات روان، دقیق، بی صدا، همراه با گشتاور تحریک پایین، سفتی بالا و همچنین طول عمر قابل پیش بینی ارائه میدهند. بال اسکروهای نورد شده نیز با قابلیت حرکات روان و طول عمر سرویس بالا جهت کاربردهای عمومی با دقت کم و البته قیمت پایین ساخته میشوند.

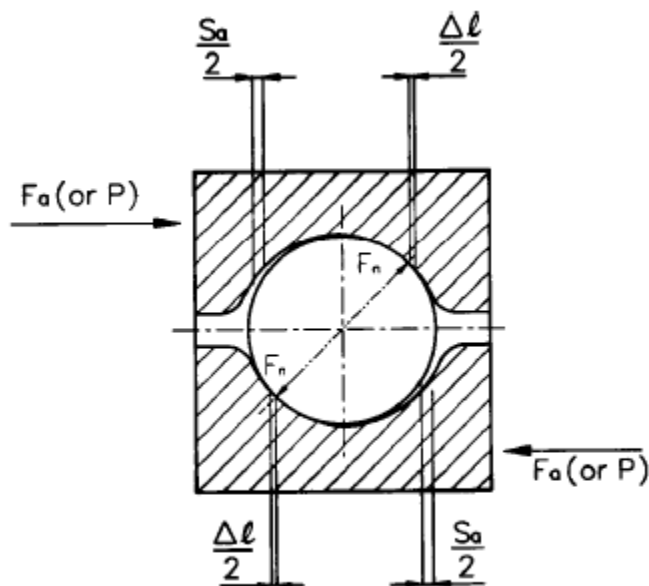
بازده بال اسکرو 90 درصد بوده و گشتاور مورد نیاز آن در حدود یک سوم گشتاور لازم برای پیچ و مهره های سنتی در شرایط یکسان میباشد.

از خصوصیات بال اسکروهای با کیفیت میتوان به راندمان و بازگشت پذیری بالا، حذف لقی، دقت بالای گام بال اسکرو، سفتی بالا و ... اشاره نمود. همچنین کیفیت سطح فوق العاده در پروفایل مسیر ساچمه ها باعث کاهش شدید اصطکاک بین ساچمه ها و مسیر آنها میگردد.

راندمان بالا موجب کاهش گشتاور تحریک لازم برای حرکت بال اسکرو شده و در نتیجه انرژی مصرفی و هزینه پایین خواهد آمد. ماشین های CNC نیازمند لقی نزدیک صفر و تغییر شکل الاستیک کمینه (سفتی بالا) میباشند. لقی از طریق طراحی مخصوص پروفایل شیار مسیر ساچمه به شکل (Gothic arm شکل 1)

و همچنین از طریق پیش بارگذاری (preloading) قابل حذف است. در ماشین های CNC جهت دستیابی

به سفتی (استحکام) حداکثر و دقت موقعیت دهی تکرارپذیر پیش بارگذاری بال اسکرو انجام میگردد. البته پیش بارگذاری بیش از حد موجب افزایش اصطکاک و گشتاور نامطلوب حاصل از آن میگردد که در نهایت به تولید حرارت و کاهش عمر بال اسکرو می انجامد. همچنین در ماشین های CNC لقی صفر موجب بروز شرایطی میگردد که در نتیجه دوران موتور هیچ حرکتی در محور اتفاق نمی افتد. (lost motion) شرکت HIWIN، سازنده بال اسکرو، مقدار پیش بارگذاری را حداکثر تا 8 درصد بار دینامیکی پایه C revs (10) 6 توصیه میکند.



Gothic form profile and preloading relation.

شکل 1: پروفایل شیار مسیر ساچمه به شکل Gothic arm

فرایند مخصوص طراحی و ساخت بال اسکروهای HIWIN منجر به تولید بال اسکروهای بهینه بدون لقی و با کمترین اتلاف حرارتی گردیده است. همچنین این شرکت قابلیت ارائه محصولات خود را منطبق بر استانداردهای JIS، DIN و ISO به سفارش مشتری دارد.

عمر بال اسکرو به عوامل زیادی بستگی دارد. از جمله نوع طراحی، کیفیت ساخت، تعمیر و نگهداری و عامل اصلی که بار محوری دینامیکی (C) میباشد. عوامل اساسی موثر بر بار دینامیکی محوری عبارتند از دقت پروفایل مسیر ساچمه ها، خواص مواد و سختی سطحی. برای کاربرد در ماشین های CNC حداقل عمر پیشنهادی تحت بار دینامیکی محوری متوسط، 250000 متر (یا 610 دور) میباشد. بال اسکروهایی که با کیفیت بالا طراحی شده اند در رده کیفیتی B جای می گیرند (90 درصد احتمال رسیدن به طول عمر طراحی شده 50). درصد بال اسکروها به طول عمر 2 الی 4 برابر میزان طراحی شده نیز میرسند.

HIWIN با بهره گیری از فاکتور مخصوص طراحی در مسیر ساچمه ها (conformance factor) و تکنیک ساخت قادر به تولید بال اسکرو با پروفایل دقیق و صحیح مسیر ساچمه میباشد.

این امر باعث میشود گشتاور موتور محرک بال اسکرو در محدوده مجاز طراحی شده باقی بماند.

دستگاههای با کیفیت بالا در سرعت های بالا و تحت بارهای سنگین نوین کمی ایجاد میکنند.

بال اسکروهای دقیق سنگزنی شده مناسب برای کاربردهای دقیق مانند CNC میباشد که نیازمند دقت بالای هم محوری و تنظیم در یاتاقان ها هستند، حال آنکه بال اسکروهای نورد شده در کارهای کم دقت مانند صنایع بسته بندی کاربرد دارند.

هم محوری محفظه یا تاقان ها و مهره بال اسکرو امری حیاتی است که عدم آن موجب ایجاد بارهای نامتعادل شده که شامل بار شعاعی و گشتاور پیچشی می باشد. این مشکلات باعث عدم کارکرد صحیح و کاهش عمر سرویس بال اسکرو میگردد.

انواع بال اسکرو از نظر نوع چرخه بازگشت ساچمه ها (شکل 3)

✓ سیستم چرخش خارجی : (External recirculation) ساچمه ها از طریق لوله هایی که در سطح بیرونی مهره کار گذاشته میشوند از انتهای مسیر به ابتدای مسیر هدایت میشوند.

✓ سیستم چرخش داخلی : (Internal recirculation) ساچمه ها از طریق کلاهک های بازگشت که درون مهره کار گذاشته میشوند به ابتدای مسیر خود هدایت میگردند.

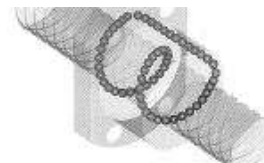
✓ بال اسکرو با طول گام فوق بلند : (Super high lead ballscrew) این نوع بال اسکرو شبیه نوع چرخش خارجی بوده با این تفاوت که در اینجا ساچمه ها پس از طی کل مسیر داخل مهره از طریق یک سوراخ عمیق درون مهره به ابتدای مهره هدایت میشوند.



External recirculation type nut with return tubes.



Internal recirculation type nut with return caps.



Super high lead type nut with return system.

شکل 3 : انواع بال اسکرو از نظر نوع چرخه بازگشت ساچمه ها

انواع بال اسکرو به لحاظ کلاس دقتی :

شرکت HIWIN بال اسکرو های تولیدی خود را در سه کلاس دقیق سنگ خورده (precision ground)، نورد شده معمولی (ordinary rolled) و نورد شده دقیق (precision grade rolled)، ارائه میدهد.

بال اسکرو های دقیق سنگ خورده مناسب برای کاربردهایی هستند که نیازمند دقت مکان یابی و تکرارپذیری بالا و همچنین حرکت روان و طول عمر سرویس زیاد می باشند. این بال اسکروها در هفت کلاس دقتی قابل ارائه هستند.

بال اسکرو های کلاس نورد معمولی جهت کاربردهای با دقت کم و البته با راندمان و طول عمر سرویس بالا ساخته میشوند.

بال اسکرو های کلاس نورد شده دقیق به لحاظ دقت و کیفیت ساخت بین نوع دقیق سنگ خورده و نوع نورد معمولی قرار می گیرند. این بال اسکروها در بسیاری از موارد با بال اسکروی سنگ خورده هم رده خود قابل تعویض میباشند، البته تolerانس های هندسی آنها با نوع سنگ خورده

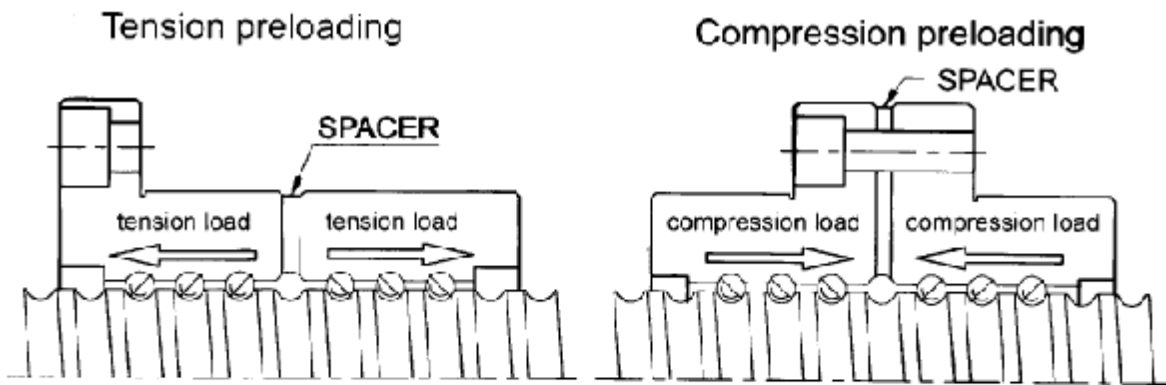
متفاوت خواهند بود HIWIN. بال اسکروهای نورد شده دقیق خود را تا کلاس دقتی C6 ارائه می‌دهد. در ادامه به توضیح در مورد کلاس هاس دقتی خواهیم پرداخت.

فاکتورهای متعددی در تعیین دقت و کیفیت بال اسکرو دخالت دارند که از مهمترین آنها میتوان به مواردی از قبیل خطای گام، زبری سطح، تلرانس های هندسی، لقی، تغییر در گشتاور تحریک مورد نیاز، تولید حرارت و سطح نویز اشاره نمود.

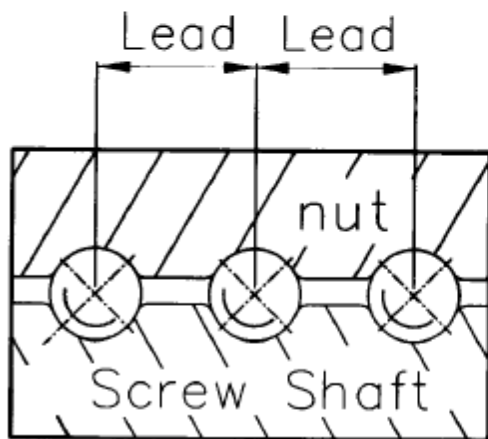
انواع روش های پیش بارگذاری:

بهترین پروفیل برای شیار مسیر ساچمه ها پروفیل Gothic میباشد که موجب ایجاد زاویه تماس 45 درجه در دو نقطه بین ساچمه و شیار مسیر ساچمه می گردد. در این روش دو نوع لقی احتمال وقوع دارند. یکی از آنها در اثر فضای خالی باقی مانده ما بین ساچمه ها و شیار مسیر آنها اتفاق می افتد و دیگری در اثر تغییر شکل الاستیک ساچمه و شیار مسیر ساچمه ها.

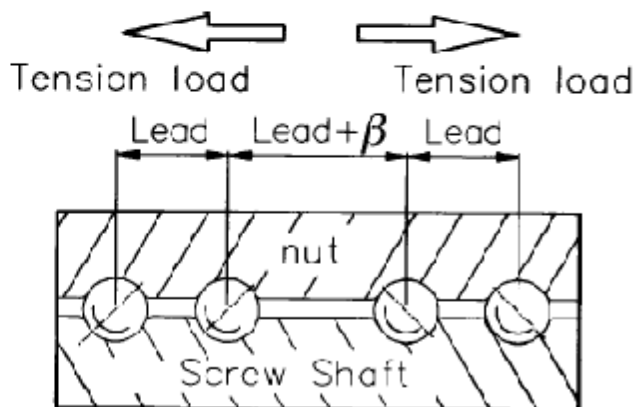
لقی نوع اول با روش پیش بار گذاری قابل حذف شدن میباشد که این امر خود به چند طریق مختلف قابل اجراست. یکی از این روش ها استفاده از دو مهره مجزا و فاصله انداز بین آنها میباشد که میتوان به دو حالت پیش بارگذاری فشاری و پیش بارگذاری کششی از آنها بهره برد. روش دیگر استفاده از یک مهره میباشد که در این روش نیز میتوان از دو طراحی متفاوت بهره برد. یکی بزرگتر کردن سایز ساچمه ها بطوری که نقاط تماس ساچمه با شیار مسیر به چهار نقطه برسد و دیگری استفاده از طول گام متفاوت در گام میانی مهره می باشد. این روش به لحاظ اشغال فضای کمتر نسبت به دو مهره بهتر میباشد البته با این توضیح که این روش مناسب برای پیش بارگذاری های متوسط می باشد. بهترین محدوده پیش بارگذاری توسط این روش کمتر از 5 درصد بار دینامیکی (C) میباشد (شکل 4). لقی نوع دوم در نتیجه خاصیت ذاتی فلز اتفاق می افتد که تنها میتوان با نگه داشتن بار اعمالی بین مهره و ساچمه ها در محدوده مجاز، از میزان آن کاست.



Preload by spacer.



Preload by ballsize.



Offset type preloading.

شکل : 4 انواع روش های پیش بارگذاری بال اسکرو

بال اسکروهای دقیق سنگ خورده:

جدول 1 بیانگر دقت مکان یابی و تکرارپذیری کلاس های مختلف بال اسکروهای دقیق سنگ خورده ی C0 (HIWIN تا) C6 میباشد. در این جدول $\pm E$ بیانگر دقت مکان یابی بال اسکرو در بازه طولی مشخص شده در ستون های اول و دوم میباشد $300e$ و $\pi 2e$ بترتیب بیانگر انحراف خطا در طول 300 میلیمتر و یک گام بال اسکرو میباشد.

جدول شماره 2 نیز بیانگر مقدار لقی (Backlash) در کلاس های مختلف بال اسکروهای دقیق سنگ خورده ی HIWIN میباشد.

Accuracy Grade		0	1	2	3	4	5	6									
$e_{2\pi}$		3	4	4	6	8	8	12									
e_{300}		3.5	5	6	8	12	18	23									
Thread length		$\pm E$		e		$\pm E$		e		$\pm E$		e		$\pm E$		e	
Above	Below																
-	315	4	3.5	6	5	6	6	12	8	12	12	23	18	23	23		
315	400	5	3.5	7	5	7	6	13	10	13	12	25	20	25	25		
400	500	6	4	8	5	8	7	15	10	15	13	27	20	27	26		
500	630	6	4	9	6	9	7	16	12	16	14	30	23	30	29		
630	800	7	5	10	7	10	8	18	13	18	16	35	25	35	31		
800	1000	8	6	11	8	11	9	21	15	21	17	40	27	40	35		
1000	1250	9	6	13	9	13	10	24	16	24	19	46	30	46	39		
1250	1600	11	7	15	10	15	11	29	18	29	22	54	35	54	44		
1600	2000			18	11	18	13	35	21	35	25	65	40	65	51		
2000	2500			22	13	22	15	41	24	41	29	77	46	77	59		
2500	3150			26	15	26	17	50	29	50	34	93	54	93	69		
3150	4000			30	18	32	21	60	35	62	41	115	65	115	82		
4000	5000							72	41	76	49	140	77	140	99		
5000	6300							90	50	100	60	170	93	170	119		
6300	8000							110	60	125	75	210	115	210	130		
8000	10000											260	140	260	145		
10000	12000											320	170	320	180		

جدول 1: دقت کلاس های مختلف بال اسکروهای دقیق سنگ خورده (اندازه ها به میکرون میباشند).

Grade	0	1	2	3	4	5	6
Axial Play	5	5	5	10	15	20	25

جدول 2: لقی کلاس های مختلف بال اسکروهای دقیق سنگ خورده (اندازه ها به میکرون میباشند).

بعنوان مثال برای کلاس دقتی C3 در بازه طولی 800 تا 1000 میلیمتر دقت مکان یابی بال اسکرو 21

میکرون، انحراف خطا در طول 300 میلیمتر و در طول یک گام بترتیب برابر با 8 و 6 میکرون، همچنین لقی در این کلاس 10 میکرون میباشد.

خلاصه ای از پیشنهاد سازنده بال اسکرو برای کاربرد کلاس های مختلف به شرح جدول 3 میباشد. بعنوان مثال طبق این جدول برای ماشین های فرز ستر کلاس های C1 تا C4 توصیه میشوند. حال آنکه کلاس های دقیقتر مناسب برای دستگاههای حساس تر از جمله سنگزنی و جیگ بورینگ کاربرد دارند.

Application grade	Axis	Accuracy grade										
		0	1	2	3	4	5	7	G ₁	G ₂	G ₃	
Lathes	X	•	•	•	•	•						
	Z				•	•	•					
Milling machines Boring machines	X		•	•	•	•	•					
	Y		•	•	•	•	•					
	Z			•	•	•	•					
Machine centers	X		•	•	•	•						
	Y		•	•	•	•						
	Z			•	•	•						
Jig borers	X	•	•									
	Y	•	•									
	Z	•	•									
Drilling machines	X				•	•	•					
	Y				•	•	•					
	Z					•	•	•				
Grinders	X	•	•	•								
	Z		•	•	•							

جدول 3: کاربردهای مناسب برای کلاس های مختلف بال اسکرو به پیشنهاد HIWIN

بال اسکروهای نورد شده:

بال اسکروهای نورد شده برای کاربردهای با دقت کمتر و البته همچنان نیازمند اصطکاک پایین و حرکت روان، راندمان و طول عمر سرویس بالا تولید میشوند. این بال اسکروها در دو کلاس نورد شده دقیق (PR)،

و نورد شده خیلی دقیق (HR) قابل عرضه میباشند. دقت بال اسکروهای HR نزدیک به بال اسکروهای دقیق سنگ خورده میباشد و در بسیاری موارد میتوانند جایگزین بال اسکروی سنگ خورده هم کلاس خود شوند.

این بال اسکروها به لحاظ تلرانس های هندسی و روش مونتاژ با نوع سنگ خورده متفاوت میباشند. روش پیش بارگذاری در این بال اسکروها نیز همانند بال اسکروهای سنگ خورده دقیق میباشد. برای اطلاعات بیشتر در زمینه این بال اسکروها می توان به مرجع اصلی این تحقیق مراجعه نمود.

جدول های 4 و 5 برترتیب میزان دقت موقعیت دهی در طول 300 میلیمتر C = _ _ _ و میزان لقی را برای کلاس ها وسایزهای مختلف بال اسکروهای نورد شده دقیق نشان میدهند.

Cumulative lead	PR1	PR2	PR3	PR4
Error / 300 mm	±0.025	±0.05	±0.1	±0.21

جدول 4: میزان دقت موقعیت دهی در طول 300 میلیمتر برای بال اسکروهای نورد شده دقیق (PR) بر اساس کلاس دقتی (اندازه ها به میلیمتر میباشند).

Ball diameter (mm)	≤2	2.381 3.175	3.969	4.763	6.35	7.144	7.938	9.525
Axial play	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15	0.16	0.17	0.18

جدول 5: میزان لقی (Backlash) برای بال اسکروهای نورد شده دقیق (PR) بر اساس سایز ساچمه ها (اندازه ها به میلیمتر میباشند).

جدول های 6 و 7 برتیب میزان دقت موقعیت دهی در بازه های طولی مختلف و میزان لقی را برای بال اسکروهای نورد شده خیلی دقیق (HR) نشان میدهند.

Accuracy grade		HR1	
Thread length (mm)		±E	e
above	below		
-	315	23	23
315	400	25	25
400	500	27	26
500	630	30	29
630	800	35	31
800	1000	40	35
1000	1250	46	39
1250	1600	54	44
1600	2000	65	51
2000	2500	77	59
2500	2800	93	69

جدول 6: خطای موقعیت دهی و انحراف خطا (e) برای بال اسکروهای نورد شده خیلی دقیق (HR) (اندازه خطاها به میکرون میباشند)

Accuracy grade	HR1
Axial play	0.02

جدول 7: میزان لقی (Backlash) برای بال اسکروهای نورد شده خیلی دقیق (HR) اندازه ها به میلیمتر میباشند.

نتیجه گیری:

در این تحقیق تلاش بر آن بود تا با معرفی مفاهیم مختلف در مورد سیستم مهم و پرکاربردی مثل بال اسکرو در صنعت کشورمان و همچنین تشریح موارد مهم، گامی کوچک در جهت آشنایی صنعتگران کشورمان با فاکتورهای مهم در انتخاب بال اسکرو و بخصوص انتخاب ماشین های CNC که بخش اعظم دقت خود را از سیستم انتقال قدرت دریافت میکنند، برداریم. البته توصیه

میگردد برای دریافت اطلاعات تکمیلی به مرجع اصلی این تحقیق مراجعه نمایند. شرکت NEWAY با نمایندگی انحصاری شرکت ماشین افزار آذربایجان در ساخت ماشین آلات CNC از بال اسکروهای رده دقیق سنگزنی شده ساخت شرکت های معتبر HIWIN و PMI بهره می برد. بال اسکروهای مورد استفاده در ماشین های تراش و فرز CNC شرکت NEWAY متعلق به کلاس C3 می باشد که مناسب ترین کلاس جهت کاربرد ماشین های ابزار طبق پیشنهاد خود سازنده بال اسکرو میباشد. در اینجا نیز به یادآوری مشخصات دقتی بال اسکروی کلاس C3 میپردازیم:

لقی یا 10 Backlash میکرون

خطای موقعیت دهی در طول 1 متر 21 میکرون

واریانس خطا در طول 1 متر 15 میکرون

خطای گام بال اسکرو در طول 300 میلی متر 8 میکرون

خطای گام بال اسکرو در طول یک گام 6 میکرون

البته این خطاها بصورت نرم افزاری بر روی دستگاههای NEWAY جبران شده و در نهایت بعنوان مثال به مقادیر 5 میکرون دقت مکان یابی و 8 میکرون دقت تکرارپذیری در مدل فرز CNC VM1103 رسیده است.

منابع:

[1]

HIWIN Ballscrews full technical information

[2]

<http://www.newaycnc.com>

[3]

<http://www.machineafzarco.com>

[4]

<http://www.newaycnc.ir>