

RUSTFRIE FJEDERMATERIALER.

Finn T. Petersen

SANDVIK
Stål

Summary.

This paper is a general introduction to the Sandvik range of stainless spring materials. Material properties of importance to the spring function is defined and discussed.

Materialebeskrivelse.

De rustfrie fjederstål inddeles normalt groft i hærdede stål, altså kromstål, samt koldvalsede/koldtrukne stål, altså krom-nikkel stål.

Kromstålene har en kemisk analyse med ca. 13 % krom og 0,20 % - 0,50 % kulstof. Ud fra denne basisanalyse findes en række varianter med mindre tillegninger af f. eks. molybdæn, nikkel, vanadin og andet. Til egentlige fjedre er normalt molybdæn-legerede stål at foretrække. Kromstål leveres ofte i form af værkshærdet båndstål til fjederapplikationer med meget høje krav til planhed og udmattelsesstyrke, f. eks. bladventiler i kompressorer.

De koldvalsede fjederstål udspringer fra en basislegering på ca. 17 % krom, 7 % nikkel og 0,10 % kulstof. Altså en relativt "mager" austenitisk legering som findes standardiseret i de fleste stålstandarder f. eks. AISI 301, W.-nr. 1,4310. Ud fra basislegeringen findes en lang række stål, der gennem mindre analysemodifikationer har opnået specifikke egenskaber. Disse materialer leveres normalt i koldvalset/koldtrukket tilstand med standardiseret trækstyrke; men inden for denne gruppe er der gode muligheder for at tilpasse materialets trækstyrke og andre egenskaber til den aktuelle applikation.

En speciel gruppe inden for de koldvalsede/koldtrukne materialer er de udskillelleshærdbare fjedermaterialer. Her gives der

mulighed for at opnå specifikke kombinationer af egenskaber gennem kombination af kolddeformation og udskillelshærdning, eller ren udskillelshærdning.

Nedenstående tabel viser den kemiske analyse af en række fjedermaterialer.

Tabel 1. Rustfrie fjedermaterialer.

Sandvik	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	øv.	AISI	W.-nr.
7C27M02	0,38	0,4	0,6	13,5	-	1,0	-	(420)	-
12R10	0,08	0,6	1,2	18,0	9,0	-	-	302	1,4310
12R11	0,10	1,2	1,3	17	7	-	-	301	1,4310
11R51	0,09	1,2	1,3	16,5	7,5	0,7	-	(301)	(1,4310)
9RU10	0,08	0,5	0,8	16,5	7,5	-	Al=1,0	631	1,4568
9RU11H	0,07	0,5	0,8	16,3	7,3	-	Al=1,2	631	1,4568
SAF2205	0,02	0,3	1,7	22	5,5	3,0	N=0,15		1,4462

7C27M02 er et martensitisk rustfrit stål der i form af værkshærdet båndstål er velegnet til fjederdetaljer med store krav til planhed, slidstyrke og udmattelsesstyrke.

12R10/12R11 er rustfrie standard fjederstål med korrosionsbestandighed og mekaniske egenskaber der opfylder normale krav. Den maksimale anvendelsestemperatur er ca. 250 grader Celsius.

11R51 er et molybdænlegeret specialstål med forbedret korrosionsbestandighed og mekaniske egenskaber sammenlignet med 12R10/12R11. Vigtige fjederegenskaber så som relaxationsbestandighed og udmattelsesstyrke er bedre i denne legering, ligesom den kan leveres med højere trækstyrke.

9RU10/9RU11H er udskillelshærdbare stål af typen 17/7PH. 9RU10 leveres i koldvalset/koldtrukken tilstand, og har sammenlignet med standardstålene meget høj anløbningseffekt, god formstabilitet under varmebehandling og gode relaxations-egenskaber, især ved forhøjet temperatur. 9RU11H leveres i opløsningsbehandlet tilstand, og kan opnå gode fjederegenskaber ved udskillelshærdning. 9RU10/9RU11H kan anvendes op til 350 grader Celsius.

SAF 2205 er et duplex rustfrit stål med meget god korrosionsbestandighed. I koldvalset tilstand har stålet desuden udmærkede mekaniske egenskaber. SAF 2205 er særdeles velegnet til fjedre i aggressive miljøer.

Fjederegenskaber.

En række materialeegenskaber har direkte indflydelse på fjederens funktion og holdbarhed. I det følgende skal nedenstående egenskaber diskuteres:

- * Trækstyrke
- * Formbarhed
- * Relaxation
- * Udmattelsesstyrke
- * Korrosionsbestandighed

Trækstyrke.

I hærdede rustfrie fjederstål er trækstyrken afhængig af den kemiske analyse, frem for alt kulstofindholdet.

Matensitiske kromstål er ret så anløbningsbestandige, hvilket i denne sammenhæng betyder at der ikke er mulighed for at påvirke trækstyrken væsentligt ved anløbning; men man er som bruger

henvist til at acceptere den trækstyrke, som stålet er "født" med.

I de koldvalsedede/koldtrukne fjederstål er trækstyrken afhængig af en række faktorer, såsom :

- * Analyse
- * Reduktion
- * Valsningstemperatur

Dette betyder at et givet stål kan produceres med netop den trækstyrke som kræves, og at egenskaberne altså kan tilpasses den aktuelle kravprofil.

Et eksempel er fjedertråd i 12R10. Her reduceres den nominelle trækstyrke med stigende dimension, for at få samme formningsegenskaber i alle dimensioner.

Deformationshærdningen af disse materialer kan henføres til to mekanismer, nemlig:

- * Deformationshærdning i austenitten
- * Dannelse af deformationsmartensit

Martensitdannelsen påvirkes markant af selv beskedne analyseændringer inden for de grænser der er fastlagt i de forskellige standarder. Der kræves altså meget snævre analyseforskrifter ved fremstilling af disse stål. Omvendt er der, ud fra kendskab til analysen mulighed for at tilpasse reduktionsgrad og valsningsparametre for at nå den ønskede trækstyrke.

Tabel 2. Mekaniske egenskaber. Nominelle værdier for båndstål.

Sandvik	Trækstyrke	0,2-spænding	Trækstyrke
	N/mm ²	N/mm ²	anløbt N/mm ²
7C27M02	1800	1450	-
12R11	1300	1100	1350
	1500	1300	1580
	1700	1550	1800
11R51	1900	1800	2100
	2050	1950	2350
9RU10	1300	1150	1650
	1500	1400	1850
	1700	1650	2050

Anløbning.

I de hærdede fjederstål er fordelene ved og effekten af anløbning ganske marginal. Kun hvis det ønskes at reducere indre spændinger efter bukning, svejsning eller lignende, kan anløbning have en gunstig effekt.

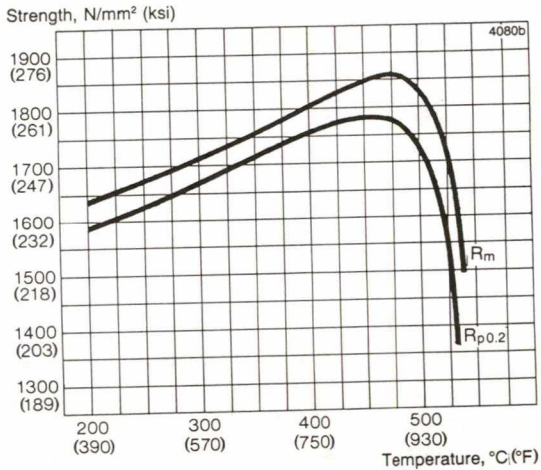
I de koldvalsedede materialer er der derimod store fordele at hente ved anløbning af de færdige detaljer. Frem for alt opnås en forbedring af de mekaniske egenskaber.

Styrkeforøgelsen hentes især fra udskillelse af submikroskopiske partikler fint fordelt i strukturen. I 12R11 og 11R51 er det kromkarbider, medens der i 9RU10/9RU11H både er kromkarbider og

nikkel-aluminium partikler. Ved denne udskillelshærdning forøges trækstyrken af 9RU10 med 350 N/mm² fra koldvalset niveau, medens 9RU11H opnår en styrkeforøgelse på 600 N/mm² fra opløsningsbehandlet tilstand.

Figur 1. Anløbningsdiagram for 9RU10.

9RU10 koldvalset til 1500N/mm² og anløbet i 1 time.



Formbarhed.

Ved fjederproduktionen er materialets formbarhed af afgørende betydning. For fjedertråd er det praksis at tråden skal kunne vikles om sin egen diameter, og dette praktiske krav er med til at sætte begrænsningerne for, hvor hårdt tråden kan trækkes. Til gengæld er det normalt ikke nødvendigt at beskæftige sig yderligere med formningsegenskaberne.

For fjederbåndstål er situationen mere kompleks idet formbarheden, udtrykt som mindste bukkeradius for vinkelret buk, afhænger af trækstyrke, materialetykkelse, bukkemetode m.m. Nedenstående tabel viser anbefalede mindste bukkeradier.

Tabel 3. Mindste bukkeradier for fjederbåndstål.

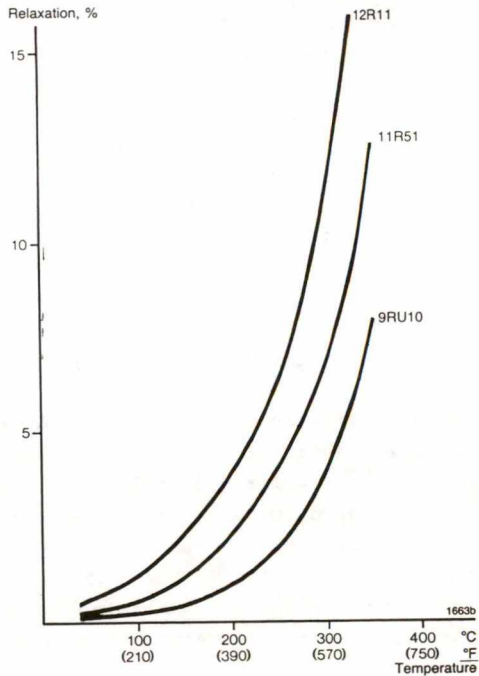
Sandvik	Rm N/mm ²	Bukke retning	Bukkeradius ved tykkelse t		
			0,25mm	0,50mm	1,0mm
7C27M02	1800	langs	5 t	6 t	>10 t
		tværs	4 t	5 t	10 t
12R11	1300	langs	t	2 t	4 t
		tværs	<0,5 t	t	2 t
	1500	langs	4 t	5 t	7 t
		tværs	t	2 t	3 t
	1700	langs	7 t	8 t	10 t
		tværs	1,5 t	3 t	4,5 t
11R51	1900	langs	10 t	>10 t	>10 t
		tværs	2,5 t	4 t	6 t
	2050	langs	>10 t	>10 t	
		tværs	4 t	6 t	

Relaxation.

Relaxation udtrykker det procentuelle krafttab i en fjeder der er konstant indspændt i en længere periode. Relaxationen indtræffer hurtigt til at begynde med og klinger derefter af.

En fjeders relaxation afhænger af en mængde faktorer, såsom kemisk analyse, trækstyrke, belastning og temperatur. Generelt udtrykt giver højere trækstyrke bedre relaxationsegenskaber, ligesom egenskaberne også forbedres ved anløbning.

Figur 3. Relaxation som funktion af temperaturen.



Udmattelsesstyrke.

De fleste fjedre er dynamisk belastede, og udmattelsesstyrken er en væsentlig designfaktor. Dette uanset om fjedren skal udsættes for få tusinde eller mange millioner påvirkninger.

Forhold der væsentligt påvirker udmattelses styrken kan opdeles i indre og ydre faktorer.

De indre faktorer er f. eks. mekaniske egenskaber, metallurgisk renhed, kemisk analyse og struktur.

Generelt set øges udmattelsesstyrken med trækstyrken; men det gør materialets kærvfølsomhed også. Så der findes en øvre praktisk grænse for, hvor høj trækstyrke det er muligt at udnytte.

Det er et absolut krav til et kvalitetsfjederstål, at det har høj metallurgisk renhed, frem for alt et meget lavt indhold af hårde oxidiske slagger. Erfaringen viser at materiale baseret på en metallurgisk proces med AOD converter og strengstøbning opfylder kravene til kvalitetsfjederstål. Kun i extreme tilfælde vil nogen yderligere forbedring kunne opnås ved vacuum-omsmeltning.

Ydre faktorer, der påvirker udmattelsesstyrken, er karakteren af belastningen, overfladespændinger i fjedren, overflade og kanter.

I princippet vil enhver afvigelse fra den ideelle overflade skabe en lokal spændingskoncentration, og dermed reducere udmattelsesstyrken. Det er derfor nødvendigt at tilstræbe den bedst mulige overfladestandard for såvel flade som kanter. Her må man imidlertid være opmærksom på, at visuel glans ikke nødvendigvis er ensbetydende med fejlfrihed. En mekanisk poleret fjedertråd vil ofte have ringere udmattelsesstyrke end en mattrukken, også p.g.a. sidstnævntes gunstige overfladespændinger.

Afvejede kompressionsspændinger i overfladen af den færdige fjeder, fremkaldt ved mekanisk polering af båndstål, tromling af fjedre eller kuglebombning, vil på afgørende vis kunne forbedre udmattelsesstyrken.

Udmattelsesdata for forskellige belastninger, træk, bøjning eller torsionsspændinger er tilgængelige i form af Wöhler-kurver og Goodman-diagrammer i de aktuelle produktbrochurer.

Korrosionsbestandighed.

Korrosionsbestandigheden af fjederstål er en vigtig parameter for flere og flere fjedre. Det er klart, at fjedre der skal indgå i udrustning til fremstilling eller håndtering af fødevarer må have god korrosionsbestandighed af hensyn til rengøring; men også inden for den finmekaniske industri er der øgede krav om fjedre der skal fungere pålideligt uden smøring.

Ud over selvfølgelige krav om bestandighed mod almenkorrosion og punkttæring i det aktuelle miljø, er der for dynamisk påvirkede fjedre også korrosionsudmattelse at tage hensyn til.

Korrosionsudmattelse kan optræde i miljøer der normalt ikke er særligt aggressive. Kombinationen af et let korrosivt miljø og svingende belastning kan føre til korrosionsudmattelse, hvor materialet ikke har sin sædvanlige udmattelsesstyrke; men selv lave spændinger fører til brud.

SAF 2205 er et fjedermateriale med særdeles god korrosionsbestandighed, og det kan med fordel anvendes til fjedre i aggressive miljøer, som f. eks. havvand. Ligeledes har SAF 2205 særdeles god bestandighed mod spændingskorrosion og kan her erstatte austenitiske fjedermaterialer og kostbare kobalt-nikkel legeringer.

